KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
REPUBLIK INDONESIA
2013

KONVERSI ENERGI



SEMESTER 2

KELAS
X

KONVERSI ENERGI

Kode: TM-KM/KEN 2

(Kelas X-Semester 2)

Disusun Oleh:

DRS. MASAGUS S. RIZAL

DIREKTORAT PEMBINAAN SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN

DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN MENENGAH

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

2013

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi mengetahuan, ketrampilan dan sikap secara utuh, proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirancang sebagai kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut

Sesuai dengan konsep kurikulum 2013 buku ini disusun mengacau pada pembelajaran *scientific approach,* sehingga setiap pengetahuan yang diajarkan, akan dilanjutkan sampai siswa dapat membuat dan terampil dalam menyajikan pengetahuan yang dikuasai secara kongkrit dan abstrak serta bersikap sebagai mahluk yang mensyukuri anugerah Tuhan akan alam semesta yang dikaruniakan kepadanya melalui kehidupan yang mereka hadapi.

Kegiatan pembelajaran yang dilakukan siswa dengan buku teks bahan ajar ini pada hanyalah usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, sedangkan usaha maksimalnya siswa harus menggali informasi yang lebih luas melalui kerja kelompok, diskusi dan mengumpulkan berbagai informasi dari sumber sumber lain yang berkaitan dengan materi yang disampaikan.

Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, siswa diminta untuk menggali dan mencari atau menemukan suatu konsep dari sumber sumber yang pengetahuan yang sedang dipelajarinya, Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaiakan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pembelajaran pada buku ini. Guru dapat memperkaya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dai lingkungan sosial dan alam sekitarnya

Sebagai edisi pertama,buku teks bahan ajar ini sangat terbuka dan terus dilakukan perbaikan dan penyempurnaannya, untuk itu kami mengundang para pembaca dapat memberikan saran dan kritik serta masukannya untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya. Atas konstribusi tersebut, kami ucapkan banyak terima kasih. Mudah-mudahan kita dapat memberikan hal yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan dalam rangka mempersiapkan generasi emas dimasa mendatang.

Cimahi Desember 2013

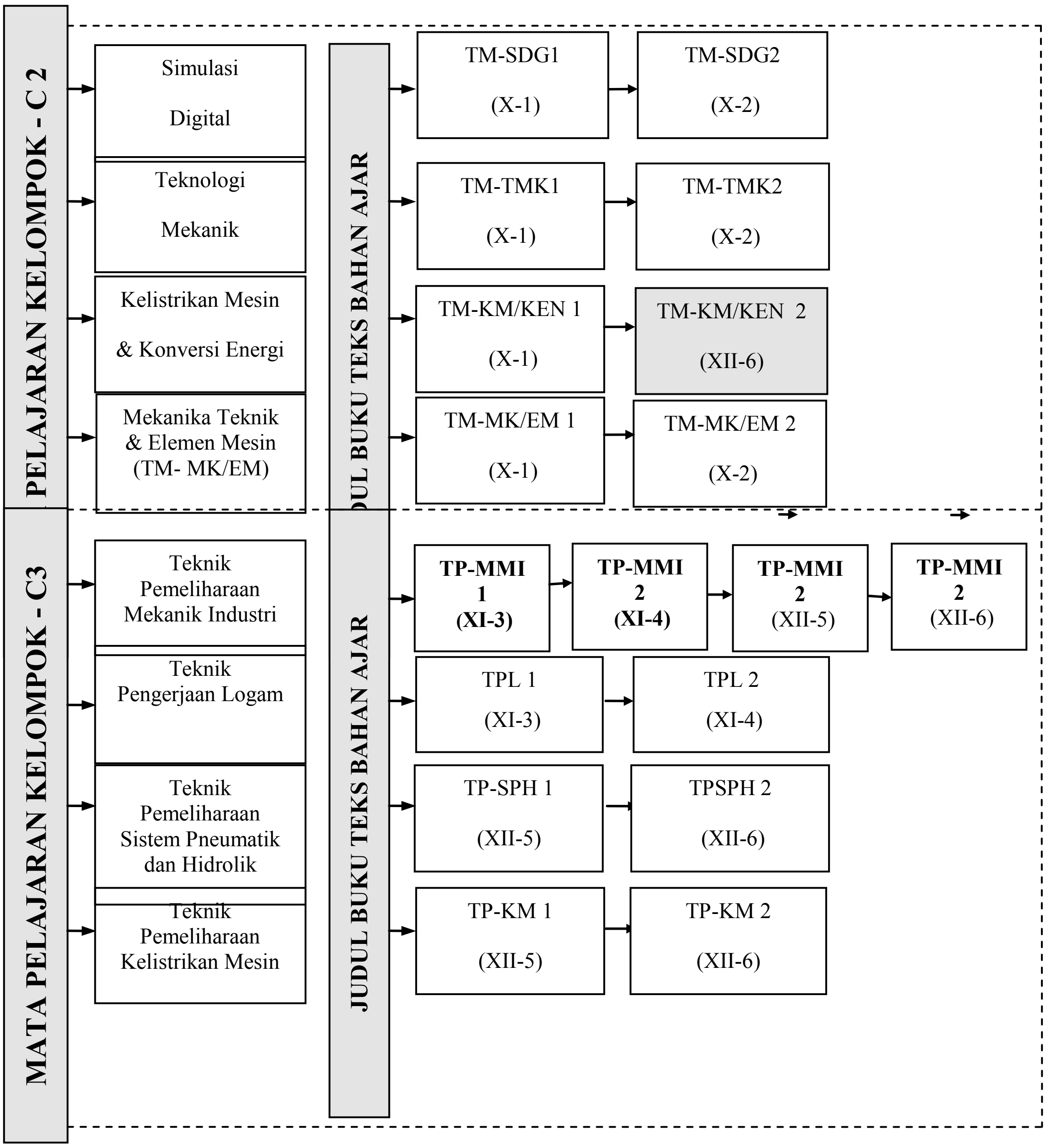
Penyusun,

DAFTAR ISI

PETA KEDUDUKAN BAHAN AJAR

Diagram Pencapaian Kompetensi

Diagram ini menunjukkan tahapan atau tata urutan pencapaian kompetensi yang dilatihkan pada peserta diklat dalam kurun waktu tiga tahun, serta kemungkinan multi entry–multi exit yang dapat diterapkan.



PERISTILAHAN/GLOSSARY

Fluida	: zat alir yang dipakai pada benda kerja disebut dengan fluida kerja.
Bleeding	: Pengosongan udara pada sistem bahan bakar.
Dry type	: Tipe kering. Salah satu tipe silinder liner.
Damper	: Penahan.
Feed pump	: Pompa utama. Yaitu pompa pada pompa injeksi Inline yang digunakan untuk menghisap bahan bakar dan menghilangkan udara palsu pada system bahan bakar.
Governor	: Komponen yang berfungsi untuk mengontrol secara automatis penyaluran bahan bakar sesuai dengan beban mesin.
Oil film	: Lapisan film yang terbentuk oleh oli.
Over size	: Pembesaran ukuran. Umumnya pada benda berbentuk silinder.
Priming pump	: Pompa utama. Yaitu pompa pada pompa injeksi distributor yang digunakan untuk menghisap bahan bakar dan menghilangkan udara palsu pada system bahan bakar.
Separator	: Sekat (pada tangki bahan bakar) yang menjaga permukaan bahan bakar tetap stabil.
Water	: Pemisah bahan bakar dengan air.
Thermostat	: Suatu komponen yang mengatur aliran air pendingin. Bekerja apabila mendapatkan panas akan membuka saluran pada thermostat itu sendiri.
Under size	: Pengecilan ukuran. Pengecilan yang dimaksud pada poros engkol.
Wet type	: Tipe basah. Salah satu tipe silinder liner.

BAB I PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Bahan ajar Konversi Energi dengan kode "TM-KM/KEN 2" berisi materi dan informasi tentang pengetahuan dasar tentang termodinamika, perpindahan panas dan mekanika fluida sangat membantu para calon operator dan staf pemeliharaan mesin-mesin industri. Konsep-konsep pengetahuan dasar akan berguna dalam memahami prinsip-prinsip dasar kerja mesin-mesin. Pembahasan ditekankan pada hal-hal khusus yang berkenaan dengan konsep dasar. Untuk pembahasan yang menyeluruh pembaca dapat merujuk pada buku teks yang ada pada daftar pustaka.

Semua materi konversi energi disusun dalan pokok bahasan tentang pengetahuan dasar motor bakar, pengetahuan dasar turbin dan pengetahuan dasar generator listrik. Bahan ajar ini membahas tentang beberapa hal penting yang perlu diketahui agar dapat melakukan melaksanakan pekerjaan dasar secara efektif, efisien dan aman. Materi diuraikan dengan pendekatan saintifik dan praktis disertai ilustrasi yang cukup agar siswa mudah memahami bahasan yang disampaikan.

Cakupan materi pengetahuan dasar mesin konversi energi yang akan dipelajari meliputi : (a) proses mesin konversi energy, (b) ciri-ciri mesin konversi energy, (c) besaran sistem termodinamika, (d) besaran pokok termodinamika, (e) bentu-bentuk energi, (f) sifat-sifat energi, dan (g) hokum termodinamika.

Cakupan materi pengetahuan dasar motor bakar yang akan dipelajari meliputi : (a) Pemahaman prinsip dan cara kerja motor bensin 2 tak maupun 4 tak, (b) Pemahaman prinsip kerja dari motor diesel 4 tak, (c) Pemahaman prinsip kerja system pendinginan, , (d) Pemahaman prinsip kerja system bahan bakar, (e) Pemahaman proses perhitungan daya motor, (g) Pemahaman konstruksi dan fungsi bagian utama Engine.

Selanjutnya cakupan materi pengetahuan dasar turbin yang akan dipelajari meliputi : (a) Turbin Gas, (b) Azas Impuls dan reaksi, (c) Segitiga kecepatan, (d) Konstruksi Turbin Gas (e), Klasifikasi Turbin Gas (f) Mesin tenaga Uap, (g) Turbin Air.

Cakupan materi pengetahuan dasar generator listrik akan membahas tentang : jenis generator listrik, fungsi dan cara kerja, konstruksi dan bagian-bagian generator listrik.

Setiap kegiatan belajar berisi tujuan, materi, dan diakhir materi disampaikan rangkuman yang memuat intisari materi, dilanjutkan test formatif. Setiap siswa harus mengerjakan test tersebut sebagai indicator penguasaan materi, jawaban test kemudian diklarifikasi dengan kunci jawaban. Guna melatih keterampilan dan sikap kerja yang benar setiap siswa dapat berlatih dengan pedoman lembar kerja yang ada.

Diakhir bahan ajar terdapat evaluasi sebagai uji kompetensi siswa. Uji kompetensi dilakukan secara teroritis dan praktik. Uji teoritis dengan siswa menjawab pertanyaan yang pada soal evaluasi, sedangkan uji praktik dengan meminta siswa mendemontrasikan/ mempresentasikan kompetensi yang harus dimiliki dan guru/ instruktur menilai berdasarkan lembar observasi yang ada.

B. Prasyarat

Bahan ajar ini merupakan kompetensi dasar dalam bidang kelistrikan mesin dan konversi energi, sehingga tidak menuntut prasyarat untuk mempelajarinya.

C. Petunjuk Penggunaan

1. Petunjuk Bagi Siswa

a. Lakukan cek kemampuan untuk mengetahui kemampuan awal yang anda kuasai, sebelum membaca bahan ajar lebih lengkap.
b. Bacalah bahan ajar secara seksama pada setiap kegiatan belajar, bila ada uraian yang kurang jelas silakan bertanya pada guru/ instruktur.
c. Kerjakan setiap test formatif pada setiap kegiatan belajar, untuk mengetahui seberapa besar pemahaman saudara terhadap materi yang disampaikan, klarifikasi hasil jawaban saudara pada kumpulan lembar jawaban yang ada.
d. Lakukan latihan setiap sub kompetensi sesuai dengan lembar kerja yang ada.
e. Perhatikan petujuk keselamatan kerja dan pertolongan pertama bila terjadi kecelakaan kerja yang termuat pada lembar kerja.

f. Lakukan latihan dengan cermat, teliti dan hati-hati. Jangan melakukan pekerjaan yang belum anda pahami dengan benar.
g. Bila saudara merasa siap mintalah guru/intruktur untuk menguji kompetensi saudara.

2. Petunjuk Bagi Guru/Istruktur

a. Guru/ intruktur bertindak sebagai fasilitator, motivator, organisator dan evaluator. Jadi guru/intruktur berperan:
b. Fasititator yaitu menyediakan fasilitas berupa informasi, bahan, alat, training obyek dan media yang cukup bagi siswa sehingga kompetensi siswa cepat tercapai.
c. Motivator yaitu memotivasi siswa untuk belajar dengan giat, dan mencapai kompetensi dengan sempurna.
d. Organisator yaitu bersama siswa menyusun kegiatan belajar dalam mempelajari bahan ajar, berlatih keterampilan, memanfaatkan fasilitas dan sumber lain untuk mendukung terpenuhinya kompetensi siswa.
e. Evaluator yaitu mengevaluasi kegiatan dan perkembangan kompetensi yang dicapai siswa, sehingga dapat menentukan kegiatan selanjutnya.

3. Pendekatan Saintifik

Proses pembelajaran untuk mencapai tujuan, yang dilakukan secara interaktif, inspiratif, menyenangkan, menantang, memotivasi peserta didik untuk secara aktif menjadi pencari informasi, serta memberikan ruang yang cukup bagi prakarsa, kreativitas, dan kemandirian sesuai dengan bakat, minat dan perkembangan fisik serta psikologis peserta didik.

Penggunaan metode yang disesuaikan dengan karakteristik peserta didik dan mata pelajaran, yang meliputi proses observasi, menanya, mengumpulkan informasi, asosiasi, dan komunikasi. Untuk pembelajaran yang berkenaan dengan KD yang bersifat prosedur untuk melakukan sesuatu, guru memfasilitasi agar peserta didik dapat melakukan pengamatan terhadap pemodelan/demonstrasi oleh guru atau ahli, peserta didik menirukan, selanjutnya guru melakukan pengecekan dan pemberian umpan balik, dan latihan lanjutan kepada peserta didik. Dalam setiap kegiatan guru harus

memperhatikan kompetensi yang terkait dengan sikap seperti jujur, teliti, kerja sama, toleransi, disiplin, taat aturan, menghargai pendapat orang lain. Cara pengumpulan data sedapat mungkin relevan dengan jenis data yang dieksplorasi, misalnya di laboratorium/ bengkel, studio, lapangan, perpustakaan, museum, dan sebagainya.

1. Mengamati

Dalam kegiatan mengamati, guru membuka secara luas dan bervariasi kesempatan peserta didik untuk melakukan pengamatan melalui kegiatan: melihat , menyimak, mendengar, dan membaca. Guru memfasilitasi peserta didik untuk melakukan pengamatan, melatih mereka untuk memperhatikan (melihat, membaca, mendengar) hal yang penting dari suatu fenomena benda atau objek atau tayangan video.

2. Menanya

Selama kegiatan mengamati, guru membuka kesempatan secara luas kepada peserta didik untuk bertanya mengenai apa yang sudah dilihat, disimak, dibaca atau dilihat. Guru perlu membimbing peserta didik untuk dapat mengajukan pertanyaan: pertanyaan tentang hasil pengamatan objek yang konkrit sampai kepada yang abstrak berkenaan dengan fakta, konsep, prosedur, atau pun hal lain yang lebih abstrak. Pertanyaan yang bersifat faktual sampai kepada pertanyaan yang bersifat hipotetik.

Dari situasi di mana peserta didik dilatih menggunakan pertanyaan dari guru, masih memerlukan bantuan guru untuk mengajukan pertanyaan sampai ke tingkat di mana peserta didik mampu mengajukan pertanyaan secara mandiri.

Dari kegiatan kedua dihasilkan sejumlah pertanyaan. Melalui kegiatan bertanya dikembangkan rasa ingin tahu peserta didik. Semakin terlatih dalam bertanya maka rasa ingin tahu semakin dapat dikembangkan.

Pertanyaan terebut menjadi dasar untuk mencari informasi yang lebih lanjut dan beragam dari sumber yang ditentukan guru sampai yang ditentukan peserta didik, dari sumber yang tunggal sampai sumber yang beragam.

3. Mengumpulkan dan mengasosiasikan

Tindak lanjut dari bertanya adalah menggali dan mengumpulkan informasi dari berbagai sumber melalui berbagai cara. Untuk itu peserta didik dapat membaca buku

yang lebih banyak, memperhatikan fenomena atau objek yang lebih teliti, atau bahkan melakukan eksperimen. Dari kegiatan tersebut terkumpul sejumlah informasi.

Informasi tersebut menjadi dasar bagi kegiatan berikutnya yaitu memeroses informasi untuk menemukan keterkaitan satu informasi dengan informasi lainnya, menemukan pola dari keterkaitan informasi dan bahkan mengambil berbagai kesimpulan dari pola yang ditemukan.

4. Mengkomunikasikan hasil

Kegiatan berikutnya adalah menuliskan atau menceritakan apa yang ditemukan dalam kegiatan mencari informasi, mengasosiasikan dan menemukan pola. Hasil tersebut disampikan di kelas dan dinilai oleh guru sebagai hasil belajar peserta didik atau kelompok peserta didik tersebut.

D. Tujuan Akhir

Tujuan akhir dari bahan ajar ini adalah siswa mempunyai kompetensi:

1. Menjelaskan prinsip kerja motor 2 tak dan 4 tak
2. Menjelaskan fungsi bagian-bagian utama motor bakar
3. Menjelaskan prestasi mesin motor bakar
4. Menjelaskan cara kerja turbin air
5. Menguraikan konstruksi turbin air
6. Menjelaskan cara kerja generator listrik

E. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

Kompetensi inti dan kompetensi dasar yang harus dikuasai oleh siswa minimal semua kompetensi yang dipersyaratkan dalam kurikulum nasional sebagaimana table peta dibawah ini.

Kompetensi Inti Dan Kompetensi Dasar

Mata Pelajaran Dasar Kelistrikan Mesin & Konversi Energi

KOMPETENSI INTI (KELAS X)	KOMPETENSI DASAR
KI-1 Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya	Mensyukuri kebesaran ciptaan Tuhan YME dengan mengaplikasikan pengetahuan, keterampilan dan sikap mengenai kelistrikan mesin dan konversi energi dalam kehidupan sehari-hari
	Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai bentuk rasa syukur dalam mengaplikasikan pengetahuan, keterampilan dan sikap mengenai kelistrikan mesin dan konversi energi dalam kehidupan sehari-hari
KI-2 Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggung jawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam dalam mengaplikasikan pengetahuan, keterampilan dan sikap mengenai kelistrikan mesin dan konversi energi dalam kehidupan sehari-hari .
	Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam mengaplikasikan pengetahuan, keterampilan dan sikap mengenai kelistrikan mesin dan konversi energi dalam kehidupan sehari-hari .
	Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan tugas mengaplikasikan pengetahuan, keterampilan dan sikap mengenai kelistrikan mesin dan konversi energi dalam kehidupan sehari-hari .
KI-3 Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu	Memahami dasar motor bakar
	Memahami prestasi mesin

KOMPETENSI INTI (KELAS X)	KOMPETENSI DASAR
pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah	Menjelaskan cara kerja turbin air
	Menguraikan konstruksi turbin air
	Menjelaskan cara kerja generator
KI-4 Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.	Mendeskripsikan dasar motor bakar.
	Mendeskripsikan prestasi mesin
	Mendeskripsikan cara kerja turbin air
	Mendeskripsikan konstruksi turbin air
	Mendeskripsikan cara kerja generator

F. Cek Kemampuan

Kompetensi Dasar	Pernyataan	Jawaban		Bila jawaban ya, kerjakan
		Ya	Tidak	
1. Memahami dasar motor bakar				
2. Memahami prestasi mesin				
3. Menjelaskan cara kerja turbin air				
4. Menguraikan konstruksi turbin air				
5. Menjelaskan cara kerja generator				
6. Mendeskripsikan dasar motor bakar.				
7. Mendeskripsikan prestasi mesin				
8. Mendeskripsikan cara kerja turbin air				
9. Mendeskripsikan konstruksi turbin gas				
10. Mendeskripsikan cara kerja generator				

BAB II PEMBELAJARAN

A. Deskripsi

Buku teks bahan ajar ini berjudul “Konversi Energi ” berisi empat bagian utama yaitu: pendahuluan, pembelajaran, evaluasi, dan penutup yang materinya membahas sejumlah kompetensi yang diperlukan untuk SMK Program Keahlian Teknik Mesin pada Paket Keahlian Teknik Pemeliharaan Mekanik Industri pada kelas XI semester 3. Materi dalam buku teks bahan ajar ini meliputi: Pemahaman mesin konversi energi, Pengetahuan dasar motor bakar, pengetahuan dasar turbin dan pengetahuan dasar generator listrik.

B. Kegiatan Belajar

1. Kegiatan Belajar 1 : Mengenal Prinsip Mesin Konversi Energi

a. Tujuan Kegiatan Belajar.

Setelah mempelajari bahan ajar ini siswa harus dapat :

1) Menjelaskan ciri-ciri proses mesin konversi energi dengan benar.
2) Menjelaskan besaran-besaran pokok termodinamika dengan benar.
3) Menjelaskan bentuk-bentuk energi yang ada di alam dengan benar
4) Menjelaskna sifat-sifat energi
5) Menjelaskan prinsip hukum termodinamika dan penerapannya dalam bidang teknologi.

b. Uraian Materi

1. Proses Mesin Konversi Energi

Ilmu termodinamika adalah ilmu yang mempelajari hubungan panas dengan kerja. Dua besaran tersebut sangat penting untuk dipahami karakteristiknya untuk pemahaman dasar keteknikan. Jadi jelas pengetahuan dasar termodinamika sangat penting, karena dipakai untuk menganalisis kondisi operasi berbagai alat atau mesin yang berhubungan dengan panas dan kerja.

2. Ciri-Ciri Mesin Konversi Energi

Untuk menganalisis mesin-mesin panas atau mesin-mesin fluida, mesin-mesin tersebut disebut dengan benda kerja. Fluida atau zat alir yang dipakai pada

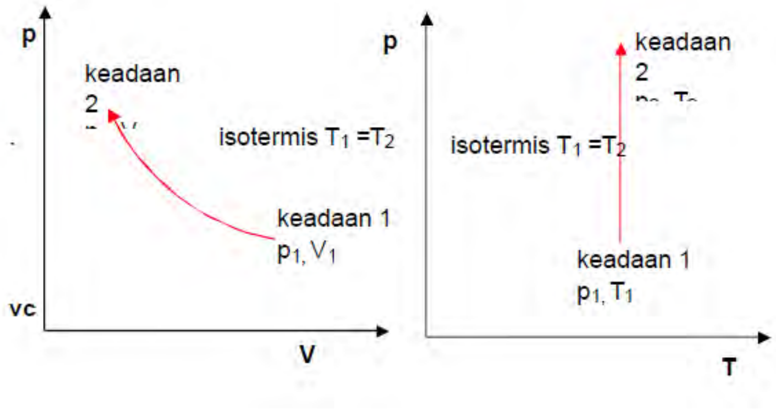
benda kerja disebut dengan fluida kerja. Sebagai contoh untuk pompa sebagai benda kerja, fluida kerjanya adalah zat cair (air, oli), sedangkan kompresor, fluida kerjanya adalah udara.

Untuk membedakan benda kerja dengan lingkungan sekitarnya, benda kerja sering disebut dengan sistem, yaitu setiap bagian tertentu, yang volume dan batasnya tidak perlu tetap, dimana perpindahan dan konversi energi atau massa akan dianalisis. Adapun istilah-istilah yang sering disebut adalah sebagai berikut.

- Batas sistem adalah garis imajiner yang membatasi sistem dengan lingkungannya
- Sistem tertutup yaitu apabila sistem dan lingkungannya tidak terja dipertukaran energi atau massa, dengan kata lain energi atau massa tidak melewati batas-batas sistem.
- Sistem terbuka yaitu apabila energi dan massa dapat melintasi atau melewati batas-batas sistem. Sistem dengan lingkungannya ada interaksi

3. Besaran Sistem Termodinamika dan Keadaan Sistem

Dalam pembahasan setiap masalah yang berhubungan dengan kejadian-kejadian alam atau suatu proses fisika alam, untuk memudahkan pemahaman masalah tersebut, pemodelan matematis banyak digunakan. Pemodelan matematik adalah suatu metode untuk mecari hubungan antara faktor-faktor fisik yang satu dengan yang lainnya menggunakan simbol-simbol dan koordinat matematik. Dengan pemodelan tersebut, akan diperoleh suatu rumusan matematik yang dapat mewakili permasalahan fisik sacara kuantitatif.



Gambar 2.1 Grafik proses keadaan termodinamik

Dalam ilmu termodinamika koordinat-koordinat atau besaran fisik akan selalu melingkupi semua rumusan termodinamika adalah Voume *V*, Temperatur *T*, Tekanan *p*, Kerapatan *r* dan besaran-besaran lainnya. Besaran- besaran ini akan mempengaruhi berbagai keadaan system termodinamika. Misalkan, sistem motor bakar akan berubah keadaannya apabila tekanan p kompresinya turun, yaitu tenaga yang dihasilkan berkurang. Perubahan keadaan temodinamika digambarkan pada grafik hubungan tekanan dengan volume atau tekanan dengan temperatur.

Contoh perubahan keadaan termodinamika yaitu perubahan keadaan pada temperatur tetap (isotermis), penggambarannya pada grafik p-v dan p-t adalah sebagai berikut Dari gambar di atas terlihat bahwa terjadi perubahan besaran pada keadaan satu ke keadaan dua. Perubahan tersebut akan tetap berlangsung sebelum ada proses keadaan yang lainnya. Proses keadaan selalu mempunyai satu atau lebih karakteristik yang spesifik. Sebagai contoh untuk proses keadaan isotermis, karakteristik yang pasti khusus adalah tidak ada perubahan temperatur selama proses.

Dalam termodinamika, besaran sistem dibagi menjadi dua yaitu besaran ekstensif dan besaran intensif. Adapun definisi masing-masing besaran adalah sebagai berikut.

[1] Besaran ekstensif, adalah besaran yang dipengarui oleh massa atau mol sistem. Contoh volume, kapasitas panas, kerja, entropi. Dari besaran-besaran ekstensif diperoleh harga-harga jenis (spesifik value). Harga jenis adalah perbandingan antara besaran ekstensif dengan massa sistem atau zat.

$$\text{Harga jenis} = \frac{\text{besaran ekstensif}}{\text{massa sistem}}$$

Contoh $\text{Volume jenis} = \frac{\text{volume}}{\text{massa}}$, $\text{Kapasitas jenis} = \frac{\text{Kapasitas}}{\text{massa}}$

[2] Besaran intensif, adalah besaran yang tidak dipengarui oleh massa sistem. Contoh: tekanan, temperatur, dan lainnya

4. Besaran-besaran pokok termodinamika

Besaran temperatur dan tekanan adalah besaran yang menjadi pokok dari sistem termodinamika, karena hubungan antar keduanya sangat penting untuk mecirikan proses keadaan sistem. Disamping itu besaran temperatur dan tekanan adalah besaran dari hasil pengukuran

secara langsung dari suatu proses keadaan sistem. Hal ini berbeda dengan besaran lainnya yang tidak berdasarkan pengukuran, tetapi diturunkan dari besaran temperatur dan tekanan. Sebagai contoh, kerja adalah besaran turunan dari tekanan atau temperatur.

1. Kerja pada volume konstan $W=m.R.\text{D}T$
2. Kerja pada tekanan kostan $W= p\text{D}V$

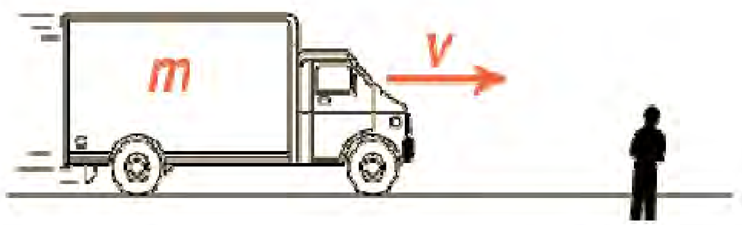
5. Bentuk-bentuk energi

Energi adalah suatu besaran turunan dengan satuan N.m atau Joule. Energi dan kerja mempunyai satuan yang sama. Sedangkan kerja dapat didefinisikan sebagai usaha untuk memindahkan benda sejauh S (m) dengan gaya F (Newton). Sedang bentuk-bentuk energi lain

dijelaskan di bawah ini :

Energi Kinetik ; energi suatu benda karena bergerak dengan kecepatan V, sebagai contoh , mobil yang bergerak, benda jatuh dan lain-lain , maka energinya dapat ditulis

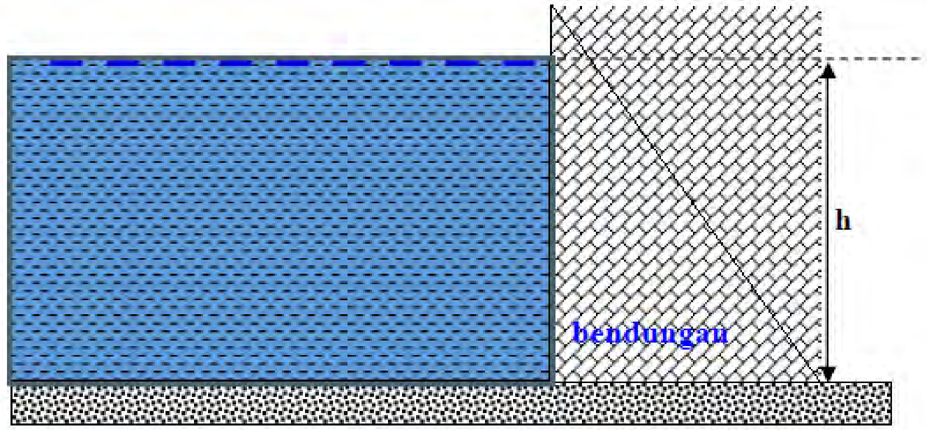
$$EK = \frac{1}{2} m V^2$$



Gambar 2.2 Pergerakan mobil dan Energi kinetik

Energi potensial adalah energi yang tersimpan pada benda karena kedudukannya. Sebagai contoh, energi potensial air adalah energi yang dimiliki air karena ketinggiannya dari permukaan.

$$Ep = m.g.h$$



Energi potesial pegas adalah energi yang dimiliki oleh benda yang dihubungkan dengan pegas untuk berada pada kedudukan tertentu karena penarikan pegas.

$$Ep = 0,5.k.x2$$

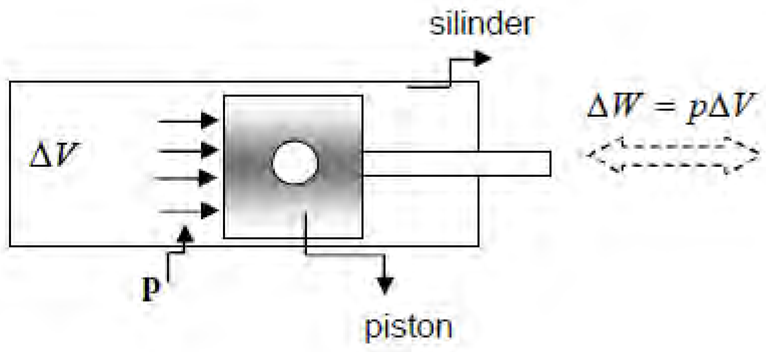
Energi mekanik adalah energi total yaitu penjumlahan antara energi kinetik dengan energi potesial.

$$Em = Ek + Ep$$

Adapun energi atau kerja mekanik pada mesin-mesin panas, adalah kerja yang dihasilkan dari proses ekspansi atau kerja yang dibutuhkan proses kompresi. Kerja mekanik (dW) tersebut sebanding dengan perubahan volume (dV) pada tekanan (p) tertentu.

$$\mathrm{D}W = p\mathrm{D}V$$

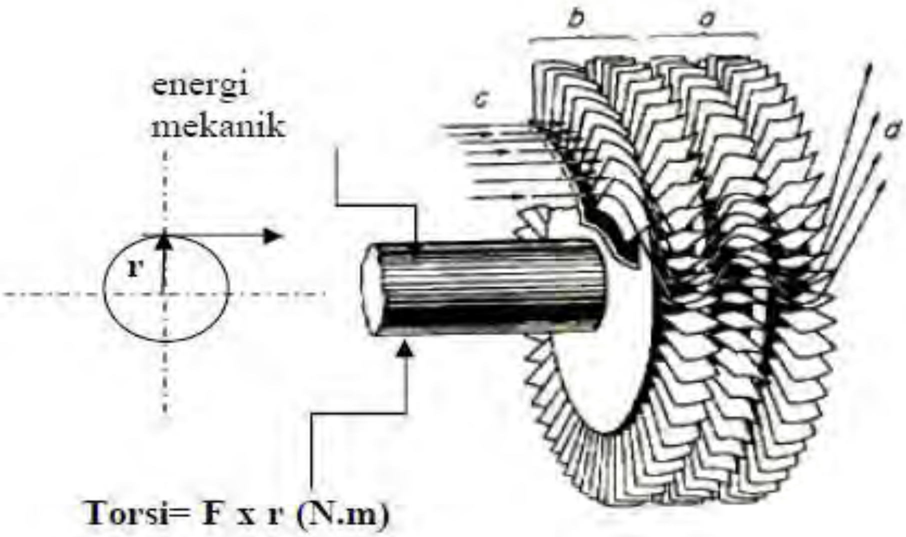
Sebagai contoh energi ini secara sederhana adalah pergerakan piston, putaran poros engkol, dan lain lain.



Gambar 2.3 Energi atau kerja pada piston

Energi mekanik pada benda-benda yang berputar misalnya poros mesin-mesin fluida (turbin, pompa, atau kompresor) dinamakan Torsi, yaitu energi yang dbutuhkan atau dihasilkan benda untuk berputar dengan gaya sentrifugal F dimana energi tersebut pada r tertentu dari pusat putaran.

$$T = F x\ r$$



Gambar 2.4 Energi mekanik poros turbin gas

Energi Aliran atau kerja aliran adalah kerja yang dilakukan oleh fluida yang mengalir untuk mendorong sejumlah massa m ke dalam atau ke luar sistem.

$$W\ energi\ aliran = pV$$

Panas (Q) yaitu energi yang ditransfer ke atau dari subtansi karena perbedaan temperatur. Dengan c panas jenis pada tekanan konstan atau volume konstan, energi ini dirumuskan:

$$Q = mcDT$$

Energi dalam (U); energi dari gas karena pergerakan pada tingkat molekul, pada gas ideal hanya dipengaruhi oleh temperatur saja.

Entalpi (H); sejumlah panas yang ditambahkan pada 1 mol gas pada tekanan konstan, dengan *cp* panas jenis pada tekanan konstan, dapat dirumuskan:

$$H\ mc\ T\ pD = D$$

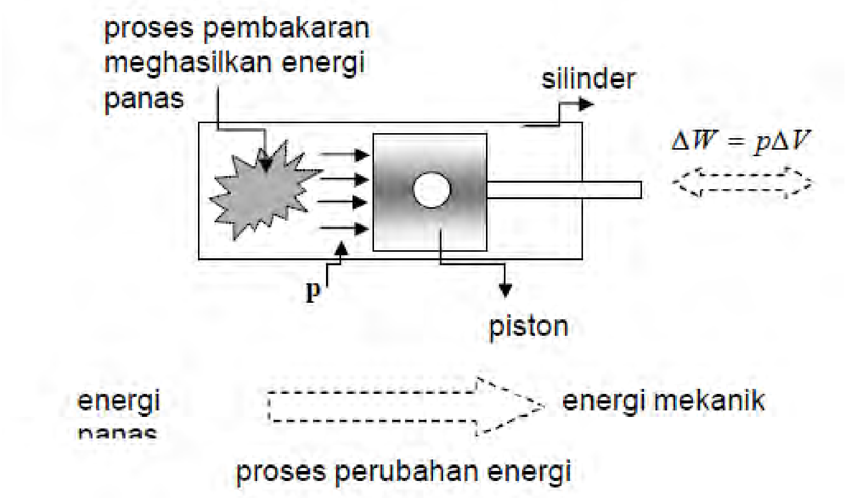
Energi yang tersedia ; bagian dari panas yang ditambahkan ke sistem yang dapat diubah menjadi kerja. Perbandingan antara jumlah energi tersedia yang dapat diubah menjadi kerja dengan energi yang dimasukkan sistem adalah konsep efisiensi.

6. Sifat energi

Energi di alam adalah kekal artinya energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan tetapi hanya dapat diubah dari energi satu ke energi lainnya (Hukum kekekalan energi). Ilmu yang mempelajari perubahan energi dari energi satu ke lainnya disebut dengan ilmu konversi energi.

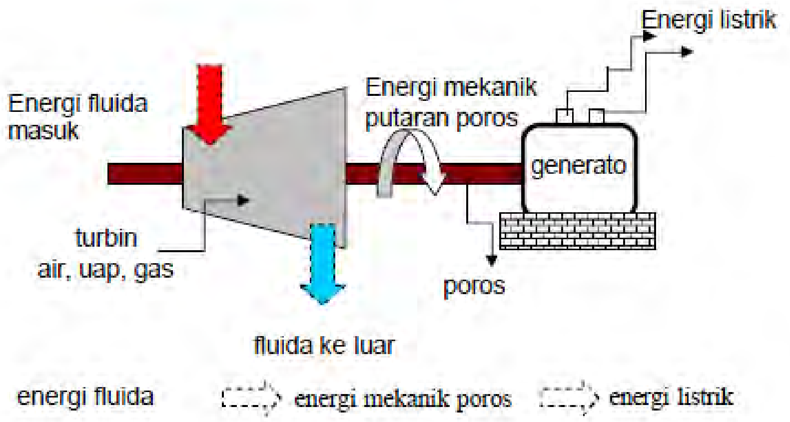
Tingkat keberhasilan perubahan energi disebut dengan efisiensi. Adapun sifat-sifat energi secara umum adalah :

a. **Transformasi energi,** artinya energi dapat diubah menjadi bentuk lain, misalkan energi panas pembakaran menjadi energi mekanik mesin

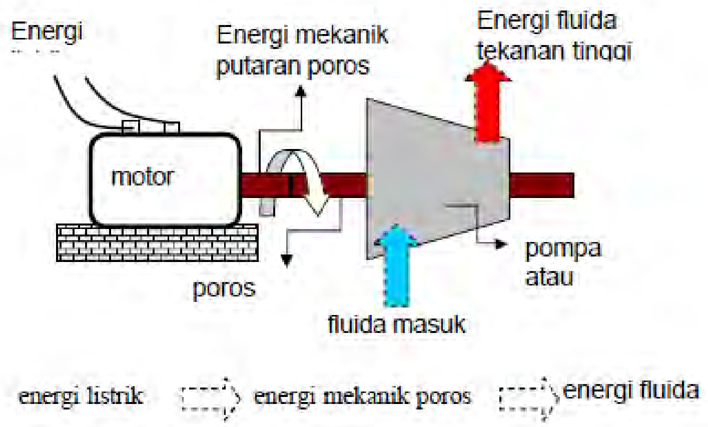


Gambar 2.4 Konversi energi panas menjadi energi mekanik

Contoh yang lain adalah proses perubahan energi atau konversi energi pada turbin dan pompa. Perubahan energi pada turbin adalah sebagai berikut, energi fluida (energi kinetik fluida) masuk turbin dan berekspansi, terjadi perubahan energi yaitu dari energi fluida menjadi energi mekanik putaran poros turbin. Kemudian, putaran poros turbin memutar poros generator listrik, dan terjadi perubahan energi kedua yaitu dari energi mekanik menjadi energi listrik.

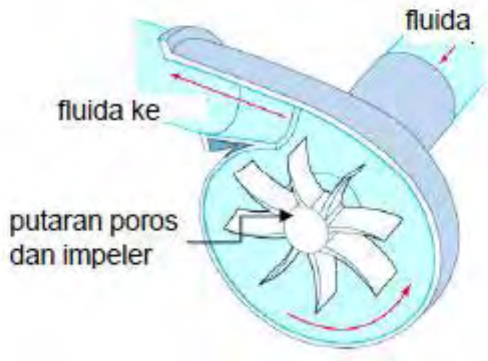


Gambar 2.22 Konversi energi pada turbin (uap, gas,air)



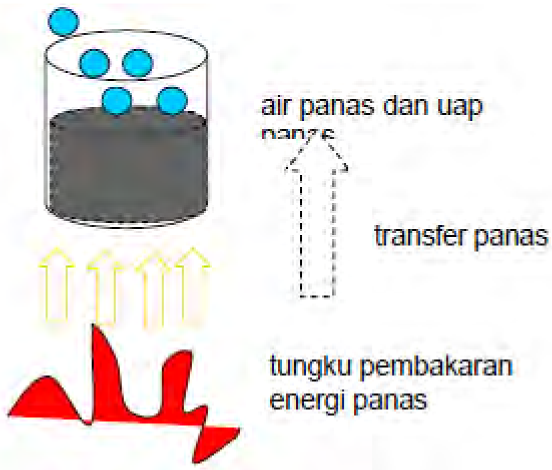
Gambar 2.5 Konversi energi pada pompa atau kompresor

Pada Gambar 2.5 terlihat proses konversi energi dari energi listrik menjadi energi fluida. Prosesnya yaitu energi listrik akan diubah menjadi energi mekanik pada motor listrik, energi mekanik tersebut berupa putaran poros motor listrik yang akan diteruskan ke poros pompa. Pada pompa terjadi perubahan energi mekanik menjadi energi fluida, fluida yang ke luar dari pompa mempunyai energi yang lebih tinggi dibanding sebelum masuk pompa.



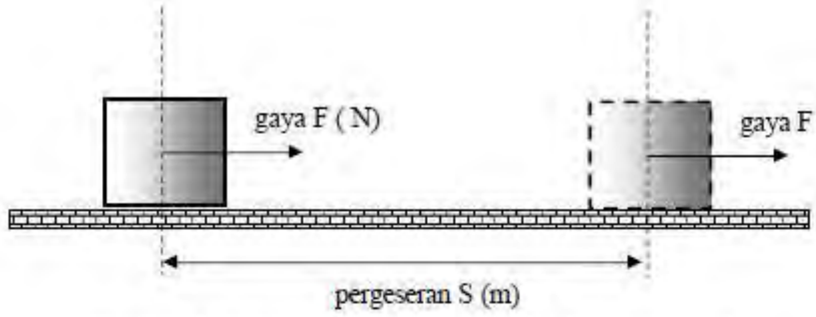
Gambar 2.6 Pompa sebagai mesin Konversi energi

2. Transfer energi, yaitu energi panas (*heat*) dapat ditransfer dari tempat satu ke tempat lainnya atau dari material satu ke material lainnya.

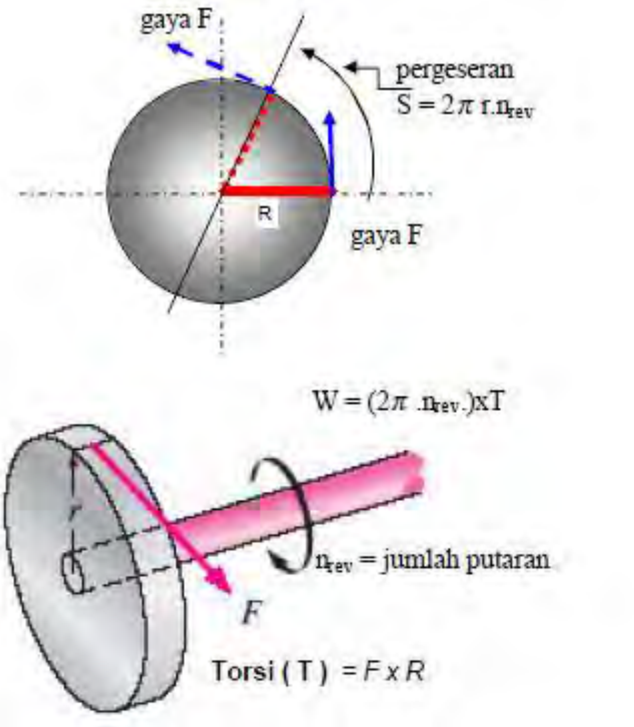


Gambar 2.7 Tranfer energi panas dari tungku ke air di panic

3. Energi dapat pindah ke benda lain melalui suatu gaya yang menyebabkan pergeseran, sering disebut dengan energi mekanik, seperti yang telah dibahas di bab sebelumnya. W = FxS



Gambar 2.26 Energi mekanik pergeseran translasi (linier)



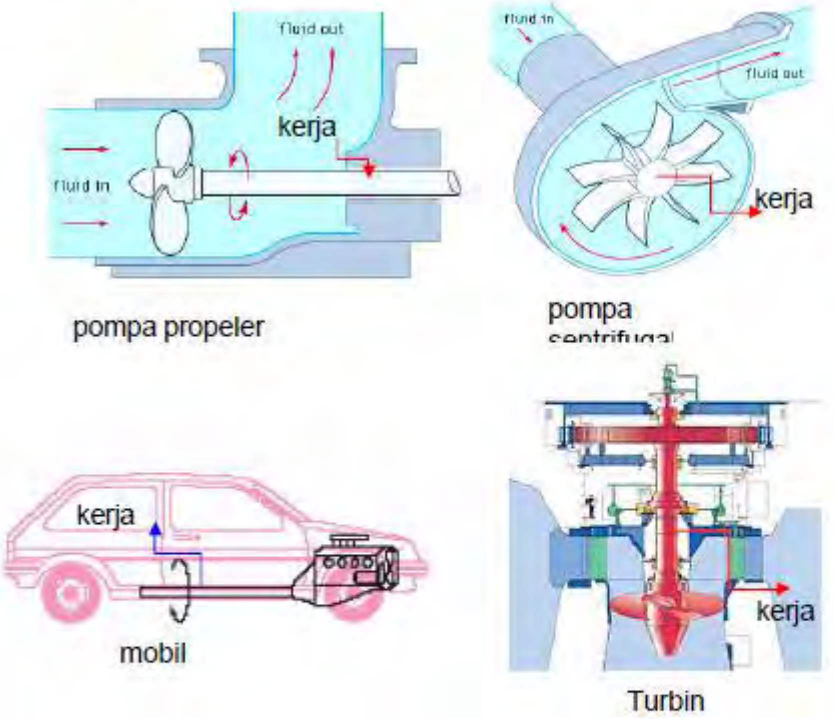
Gambar 2.8 Energi mekanik pergeseran rotasi (angular)

$T = F \times R$

$W = F x S$ dengan $S = 2\pi\ r.n_{rev}$ dan $F = \frac{T}{r}$, maka

$W = \frac{T}{r} 2\pi\ r.n_{rev} = (2\pi\ .n_{rev}.) x T$ **(Kerja Mekanik Poros)**

dimana n_{rev} = adalah jumlah putaran



Ganbar 2.9 Mesin-mesin konversi energi dengan kerja poros

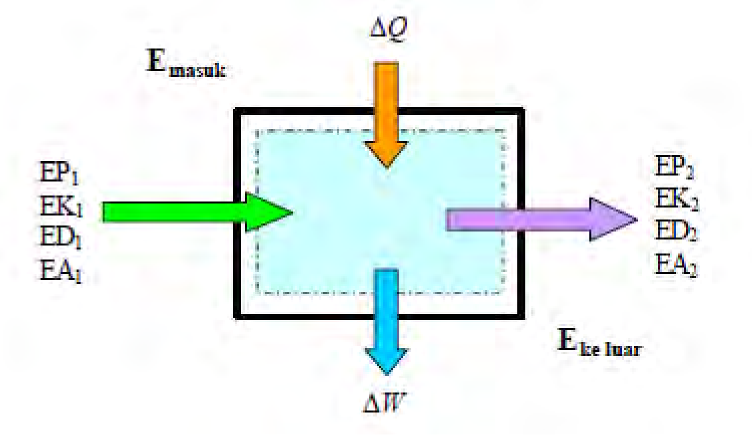
Energi mekanik putaran poros adalah yang paling sering digunakan untuk perhitungan mesin-mesin konversi energi, karena hampir sebagian besar mesin-mesin konversi adalah mesin-mesin rotari. Alasan pemilihan gerak putaran poros mesin (mesin rotari) sebagai transfer energi atau kerja dibanding dengan putaran bolak-balik (*reciprocating*) adalah karena gerak rotari mempunyai efisiensi mekanik yang tinggi, getaran rendah, dan tidak banyak memerlukan komponen mesin yang rumit. Energi atau kerja langsung dapat ditransfer atau diterima peralatan tanpa peralatan tambahan.

Energi adalah kekal, tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan.

7. Hukum Termodinamika

7.1 Hukum termodinamika I

Hukum pertama termodinamika adalah hukum konversi energi, hukum ini menyatakan bahwa *ENERGI TIDAK DAPAT DICIPTAKAN ATAU DILENYAPKAN*, energi hanya dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk lainnya.



Gambar 2.10 Dinamika perubahan energi pada suatu benda kerja

Hukum pertama Termodinamika dapat ditulis sebagai berikut ;

$$EP1 + EK1 + ED1 + EA1 + = EP2 + EK2 + ED2 + EA2 +$$

Untuk sistem terbuka dimana ada pertukaran energi dan massa dari sitem ke lingkungan atau sebaliknya, maka persamaan energi di atas dapat dijabarkan sebagai berikut

$$mgZ_1 + m\frac{V_1^2}{2} + [U_1 + p_1V_1] + \Delta Q = mgZ_2 + m\frac{V_2^2}{2} + [U_2 + p_2V_2] + \Delta W$$

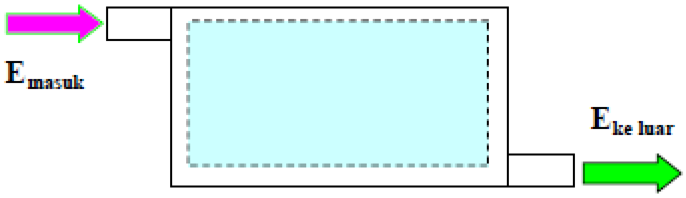
dengan [$pV + U$] = H dapat dituliskan kembali menjadi

$$mgZ_1 + m\frac{V_1^2}{2} + H_1 + \Delta Q = mgZ_2 + m\frac{V_2^2}{2} + H_2 + \Delta W$$

$$E_{masuk} = mgZ_1 + m\frac{V_1^2}{2} + H_1 + \Delta Q$$

$$E_{kelua} = mgZ_2 + m\frac{V_2^2}{2} + H_2 + \Delta W$$

Jadi Hukum termo pertama dapat diutuliskan secara sederhana dengan persamaan berikut (untuk sistem terbuka) *masuk keluar E* = *E* atau D*EP* + D*EK* + D*H* + D*Q* = D*W*

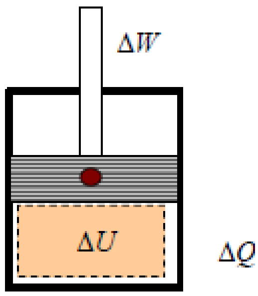


Gambar 2.11 Proses perubahan energi pada sistem terbuka

Jika Hukum termodinamika pertama dituliskan secara sederhana untuk sistem tertutup, dimana massa tidak dapat melintas batas sistem, maka suku EP, EK dan EA dapat dihilangkan dari persamaan. Persamaan dapat ditulis kembali menjadi:

D*EP* + D*EK* + D*pV* + D*Q* = D*W* + DU D*Q* = D*W* + D*U*

Jadi untuk sistem tertutup persamaannya menjadi D*Q* = D*W* + DU



Gambar 2.12 Proses perubahan energi pada sistem tertutup

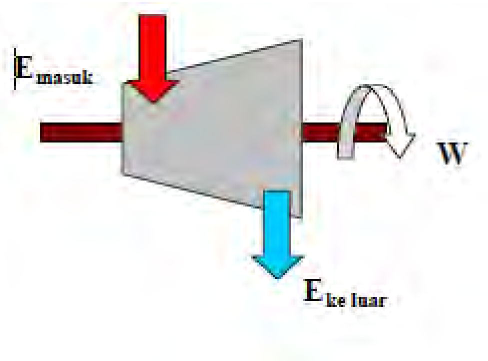
Contoh-contoh aplikasi hukum termodinamika I

Hukum-hukum termodinamika yang sudah diuraikan di atas adalah sangat berguna dalam menganalisis persoalan mesin-mesin konversi energi sederhana, sebagai contoh di bawah ini diuraikan pemodelan termodinamikanya.

7.1.1 Konversi energi pada turbin

Turbin adalah salah satu mesin konversi energi yang cukup penting.Turbin di industri biasanya turbin uap atau gas. Keduanya merupakan alat ekspansi yang

menghasilkan kerja mekanik poros. Di bawah ini ditunjukkan perhitungan kerja turbin sederhana.



Gambar 2.13 Konversi energi pada turbin

Pada turbin terjadi proses ekspansi adiabatis sehingga D*Q* = 0 DEP dan DEK =0

$$mgZ_1 - mgZ_2 + m\frac{V_1^2}{2} - m\frac{V_2^2}{2} + H_1 - H_2 + \Delta Q = \Delta W$$

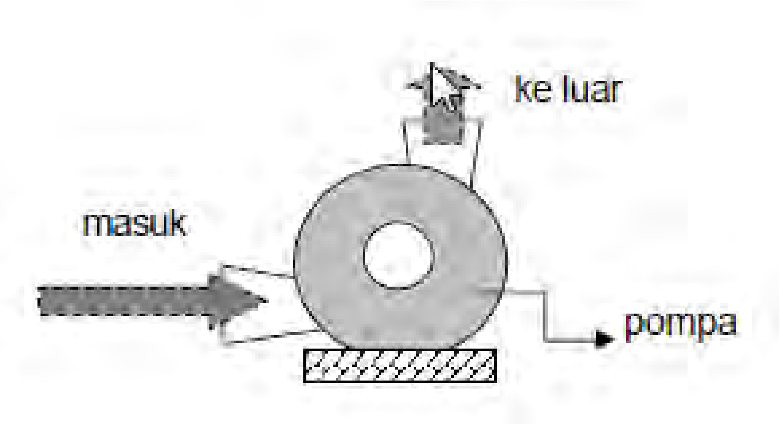
$$\Delta EP + \Delta EK + \Delta H + \Delta Q = \Delta W$$

$$0 + 0 + \Delta H + 0 = \Delta W$$

jadi kerja turbin adalah $\Delta W = H_1 - H_2$

7.1.2 Konversi pada pompa

Pompa juga merupakan alat mesin konversi energi, tetapi mesin ini banyak diaplikasikan sebagai alat bantu proses konversi. Sebagai contoh pompa banyak dipakai sebagai alat sirkulasi air pada instalasi pembangkit daya tenaga uap. Pompa bekerja dengan penggerak dari luar. Jadi mesin ini adalah pengguna energi. Di bawah ini diberikan persoalan tentang pompa sentrifugal sederhana.



Gambar 2.14 Konversi pada pompa

$DEP + DEK + DH + DQ = DW$

dengan

$DEP + DEK + DQ = 0 \quad DU = 0 \quad DH = DpV$

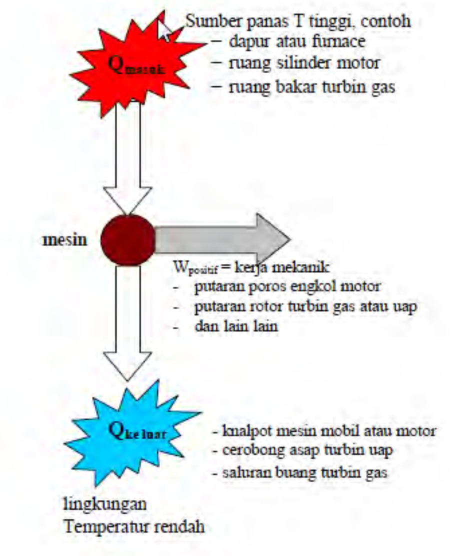
maka kerja yang dibutuhkan pompa adalah

$$\Delta W = \Delta H = \Delta U + \Delta pV$$
$$\Delta W = V[p_1 - p_2]$$

7.2 Hukum termodinamika II

Tidak mungkin membuat siklus mesin yang mengubah energi panas yang ditambahkan, semuanya menjadi kerja. Konsep efisiensi seperti yang telah disebutkan yaitu:

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \quad \text{dengan}$$
$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out}$$



Gambar 2.15 Skema sederhana dari hukum termodinamika II

Aplikasi prinsip-prinsip dasar termodinamika pada mesin menggunakan fluida kerja yang dianggap ideal. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$pv = mRT$

dengan

R = Ru/M (Konstanta gas)

= 0,2870 kJ/Kg.K (untuk udara)

Ru = 8,31447 kJ/kmol.K (konstanta gas ideal)

8. Persamaan keadaan gas ideal

Gas ideal adalah gas yang dalam setiap keadaan mematuhi persamaan keadaan gas ideal yaitu:

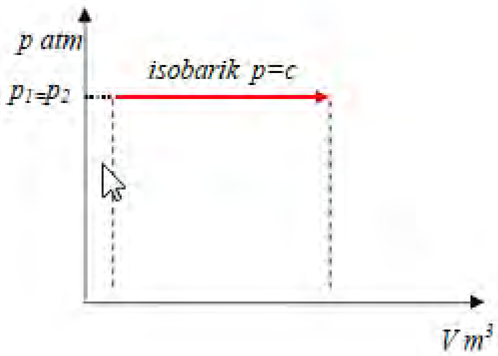
$$pV = mRT$$

$$pv = RT$$

dengan R = adalah konstanta gas spesifik, untuk udara R = 286,8 J/KgK

Pada suatu siklus termodinamika persamaan keadaan prosesnya selalu berubah mengikuti beberapa proses yang saling terkait. Ada tiga besaran yang selalu terkait dan dapat diukur langsung yaitu tekanan (p), temperatur (T) dan volume (V). Adapun proses keadaan termodinamika adalah sebagai berikut.

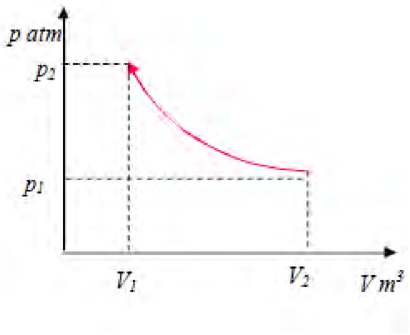
8.1 Proses volume konstan



Gambar 2.16 Diagram *p-v* proses tekanan konstan

8.2 Proses temperatur konstan

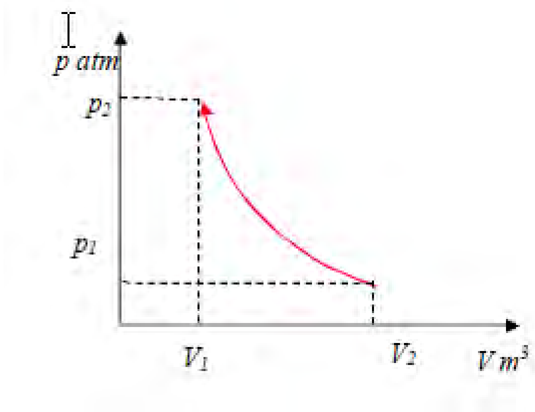
Pada proses ini konstanta n pada politropik berharga $n = 1$ dan $T = C$



Gambar 2.17 Diagram *p-v* proses temperatur konstan

8.3 Proses Adiabatis (dq = 0)

Pada proses ini konstanta n pada politropik berharga n = 1 dan T= C

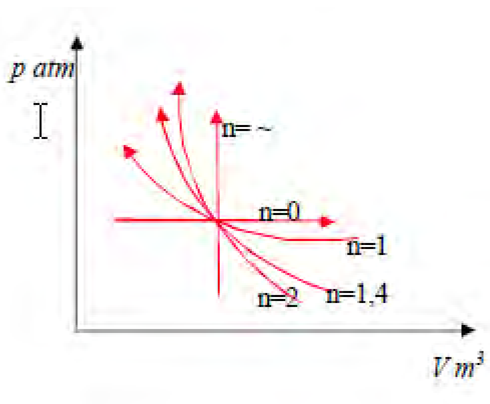


Gambar 2.18 Diagram *p-v* proses adiabatik

8.4 Proses politropik ;

secara umum pesamaan keadaan gas ideal dapat dirumuskan sebagai berikut

$$[1]\ pV^n = C \qquad [2]\ TV^{n-1} = C \qquad [3]\ T^{-1} p^{\frac{n-n}{n}} = C$$



Gambar 2.19 Diagram *p-v* proses politropik

c. Rangkuman

1. Mesin Konversi energi memiliki ciri antara lain : adanya proses mengubah energi (padat, cair, gas) yang digunakan menjadi energi bentuk lain (mekanik, panas, dll)
2. Pemodelan matematik adalah suatu metode untuk mecari hubungan antara faktor-faktor fisik yang satu dengan yang lainnya menggunakan simbol-simbol dan koordinat matematik. Dalam ilmu termodinamika koordinat-koordinat atau besaran fisik akan selalu melingkupi semua rumusan termodinamika adalah Voume V, Temperatur T, Tekanan p, Kerapatan r dan besaran-besaran lainnya.
3. Kerja adalah besaran turunan dari tekanan atau temperatur pada termodinamika.
   1. Kerja pada volume konstan $W = m.R.DT$
   2. Kerja pada tekanan kostan $W = pDV$
4. Bentuk energi yang ada di alam antara lain:
   - **Energi** adalah suatu besaran turunan dengan satuan N.m atau Joule. Energi dan kerja mempunyai satuan yang sama
   - **Energi Kinetik ;** energi suatu benda karena bergerak dengan kecepatan V
   - **Energi potensial** adalah energi yang tersimpan pada benda karena kedudukannya.
   - **Energi potesial pegas** adalah energi yang dimiliki oleh benda yang dihubungkan dengan pegas untuk berada pada kedudukan tertentu karena penarikan pegas.
   - **Energi mekanik** pada benda-benda yang berputar misalnya poros mesin-mesin fluida (turbin, pompa, atau kompresor) dinamakan Torsi, yaitu energi yang dibutuhkan atau dihasilkan benda untuk berputar dengan gaya sentrifugal F dimana energi tersebut pada r tertentu dari pusat putaran.
   - **Energi Aliran atau kerja aliran** adalah kerja yang dilakukan oleh fluida yang mengalir untuk mendorong sejumlah massa m ke dalam atau ke luar sistem.
   - **Energi Panas (Q)** yaitu energi yang ditransfer ke atau dari subtansi tertentu karena perbedaan temperatur.
   - **Energi dalam (U);** energi dari gas karena pergerakan pada tingkat molekul, pada gas ideal hanya dipengaruhi oleh temperatur saja.

- **Entalpi (H);** sejumlah panas yang ditambahkan pada 1 mol gas pada tekanan konstan, dengan *cp* panas jenis pada tekanan konstan
- **Energi yang tersedia ;** bagian dari panas yang ditambahkan ke sistem yang dapat diubah menjadi kerja.

5. Sifat energi adalah dapat ditransformasi dan ditransfer dan dapat dipidahkan kebenda lain.

6. Hukum termodinamika I adalah hukum konversi energi yang menyatakan bahwa *ENERGI TIDAK DAPAT DICIPTAKAN ATAU DILENYAPKAN*, energi hanya dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk lainnya.

d. Tugas

1. Jelaskan ciri-ciri proses mesin konversi energi dan berilah contoh dalam kehidupan di sekitar kita . . .?
2. Jelaskan dengan singkat tentang besaran pokok termodinamika. . .?
3. Uraikan denga jelas dan singkat bentuk-bentuk energi yang ada di sekitar kita . . . ?
4. Uraikan 3 sifat-sifat energi dengan singkat . . . ?
5. Jelaskan prinsip hukum termodinamika pertama dan penerapannya dalam bidang teknologi. . . . . . ?

2. Kegiatan Belajar 2 : Pengetahuan Dasar Motor Bakar

a. Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari secara keseluruhan materi kegiatan belajar dalam modul ini peserta diklat diharapkan mampu :

1) Menjelaskan prinsip dan cara kerja motor bensin 2 tak maupun 4 tak,
2) Menjelaskan prinsip kerja dari motor diesel 4 tak,
3) Menjelaskan prinsip kerja sistem bahan bakar,
4) Menjelaskan proses perhitungan daya motor,
5) Menjelaskan konstruksi dan fungsi bagian utama Engine,

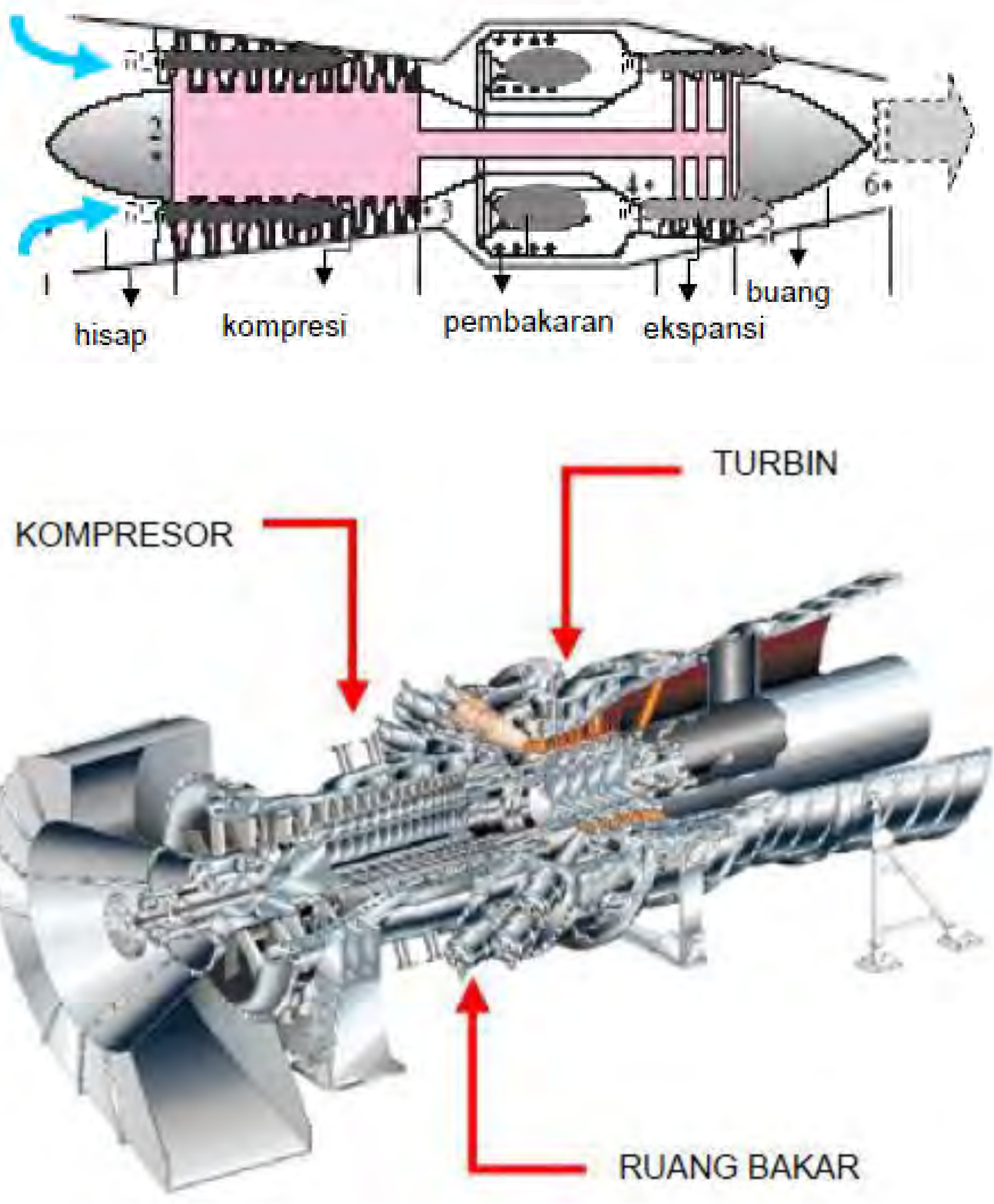
b. Uraian Materi :

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin konversi energi yang banyak dipakai sebagai penggerak kendaran (otomotif) atau sebagai penggerak peralatan industri [gambar 2.1]. Dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakarannya terjadi dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerjanya. Mesin yang bekerja dengan cara ini disebut mesin pembakaran dalam *(internal combustion engine)* [gambar 2.1]. Adapun mesin kalor yang cara memperoleh energinya dengan proses pembakaran di luar disebut mesin pembakaran luar *(external combustion engine)*. Sebagai contoh mesin uap [gambar 2.2], dimana energi kalor diperoleh dari pembakaran luar, kemudian dipindahkan ke fluida kerja melalui dinding pemisah.

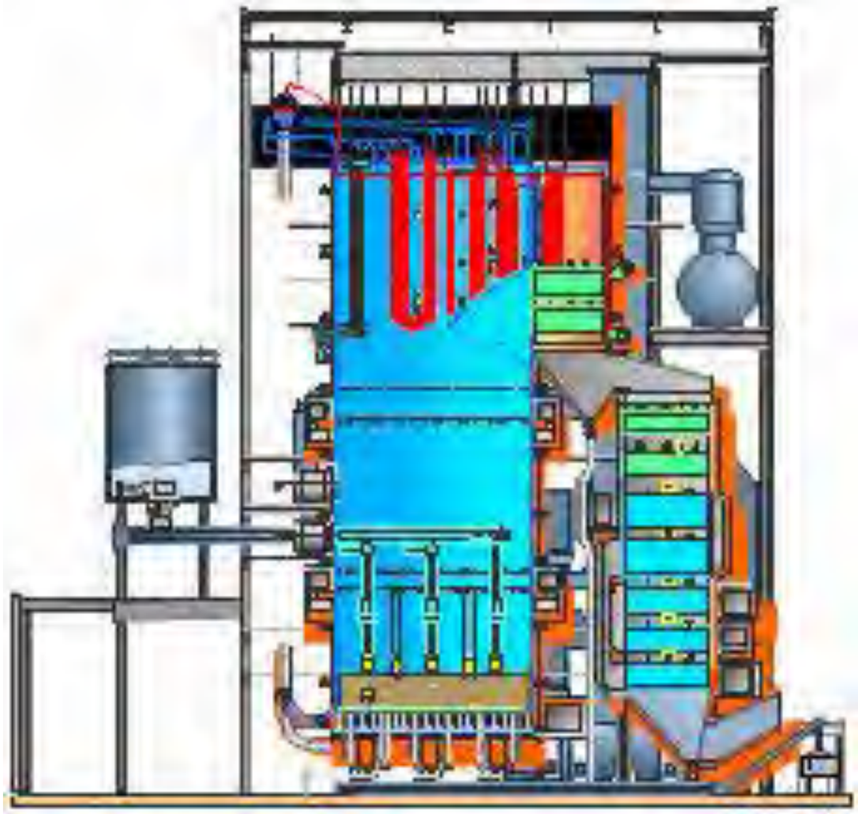


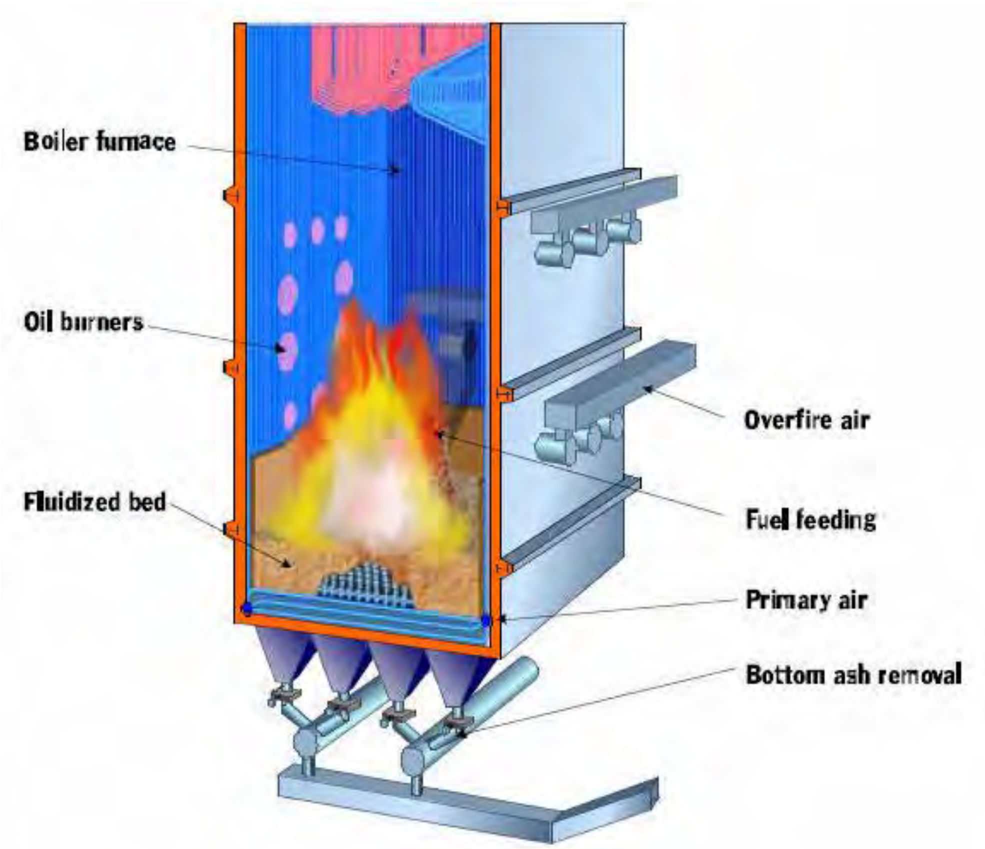
Gambar 2.20 Mesin pembakaran dalam

Keuntungan dari mesin pembakaran dalam dibandingkan dengan mesin pembakaran luar adalah konstruksinya lebih sederhana, tidak memerlukan fluida kerja yang banyak dan efisiensi totalnya lebih tinggi. Sedangkan mesin pembakaran luar keuntungannya adalah bahan bakar yang digunakan lebih beragam, mulai dari bahan bakar padat sampai bahan-bakar gas, sehingga mesin pembakaran luar banyak dipakai untuk ke luaran daya yang besar dengan banan bakar murah. Pembangkit tenaga listrik banyak menggunakan mesin uap. Mesin uap tidak banyak dipakai untuk kendaran transport karena konstruksinya yang besar dan memerlukan fluida kerja yang banyak.



Gambar 2.21 Mesin pembakaran dalam

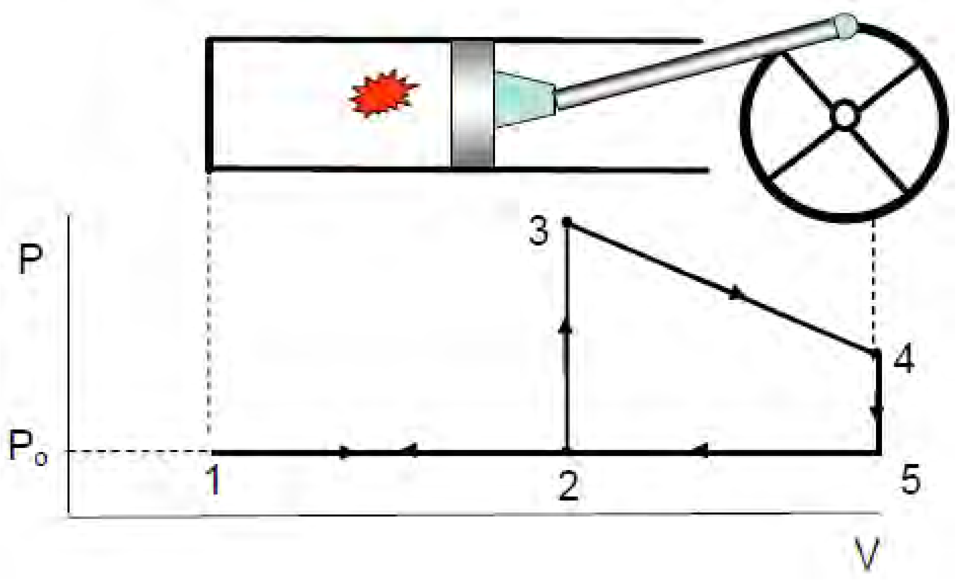




Gambar 2.22 Mesin pembakaran luar

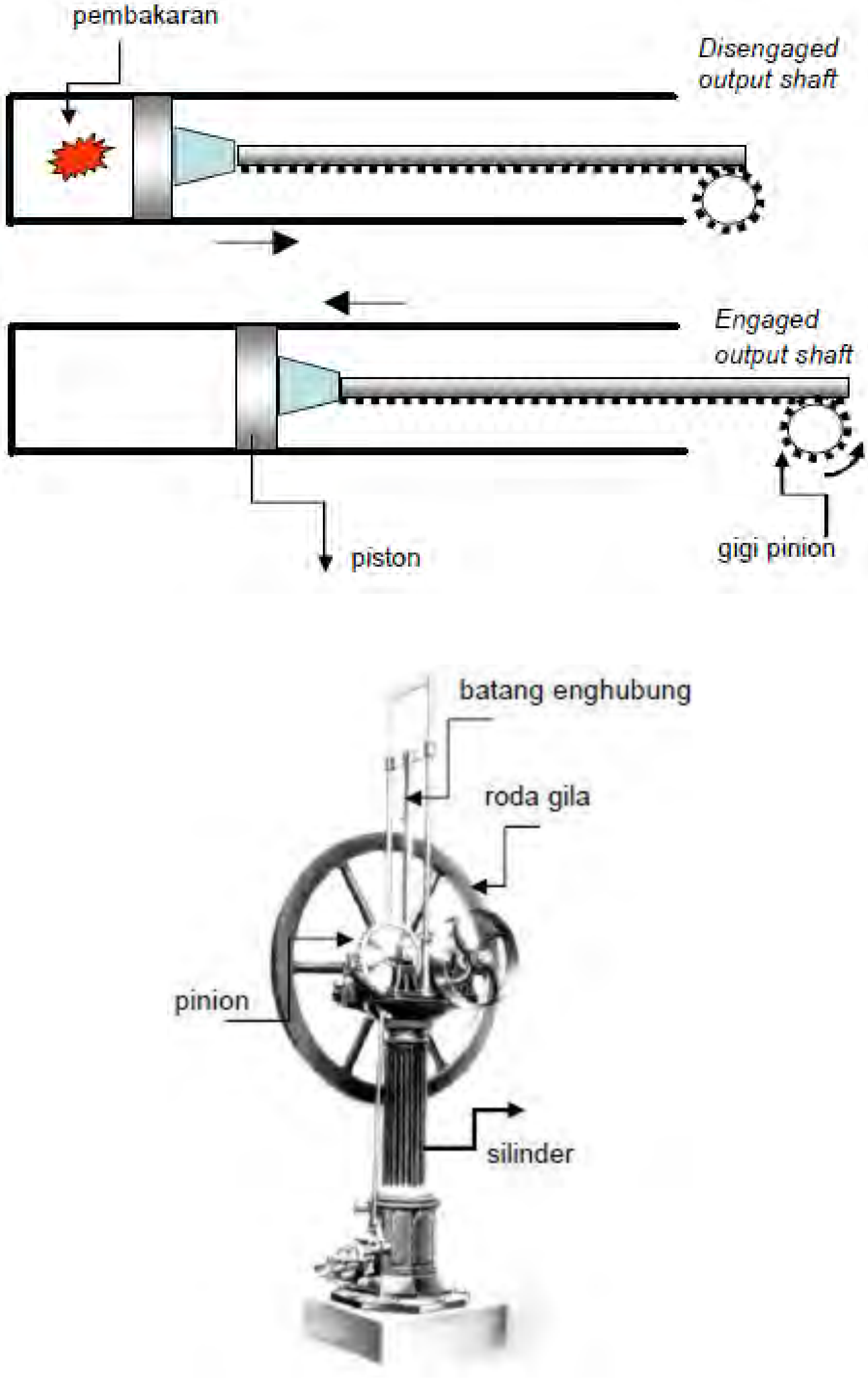
1. Sejarah Motor Bakar

Sejarah motor bakar mengalami perkembangan yang menggembirakan sejak tahun 1865. Pada tahun tersebut Lenoir mengembangkan mesin pembakaran dalam tanpa proses kompresi [Gambar 2.4]. Campuran bahan bakar dihisap masuk silinder dan dinyalakan sehingga tekanan naik, selanjutnya gas pembakaran berekspansi yang mendorong piston. Langkah berikutnya gas pembakaran dibuang, piston kembali bergerak menghisap campuran bahan bakar udara dengan menggunakan energi yang tersimpan dalam roda gila. Mesin Lenoir pada tahun 1865 diproduksi sebanyak 500 buah dengan daya 1,5 hp pada putaran 100 rpm.



Gambar 2.23 Mesin Lenoir

Mesin berikutnya yang lebih efesien dari mesin Lenoir adalah *Otto langen engine* [Gambar 2.5, 2.6, 2.7]. Mesin ini terdiri dari piston yang tidak dihubungkan dengan poros engkol, tetapi piston bergerak bebas secara vertikal pada proses ledakan dan tenaga. Setelah itu, secara gravitasi piston bergerak turun dan terhubung dengan gigi pinion diteruskan ke roda gila. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam roda gila digunakan oleh piston untuk energi langkah hisap. Pada langkah hisap campuran bahan bakar udara masuk silinder untuk pembakaran.



Gambar 2.24 *Otto langen engin* generasi pertama



Gambar 2.25 *Otto langen engin* generasi kedua

Konsep-konsep untuk menaikkan efisiensi mesin pembakaran dalam terus dialakukan oleh para peneliti . Pada tahun 1862 di Prancis, Beau de Rochas menulis prinsip dasar untuk efisiensi sistem mesin pembakaran dalam. Adapun prinsip dasar dari mesin Rochas adalah sebagai berikut [Gambar 2.7]

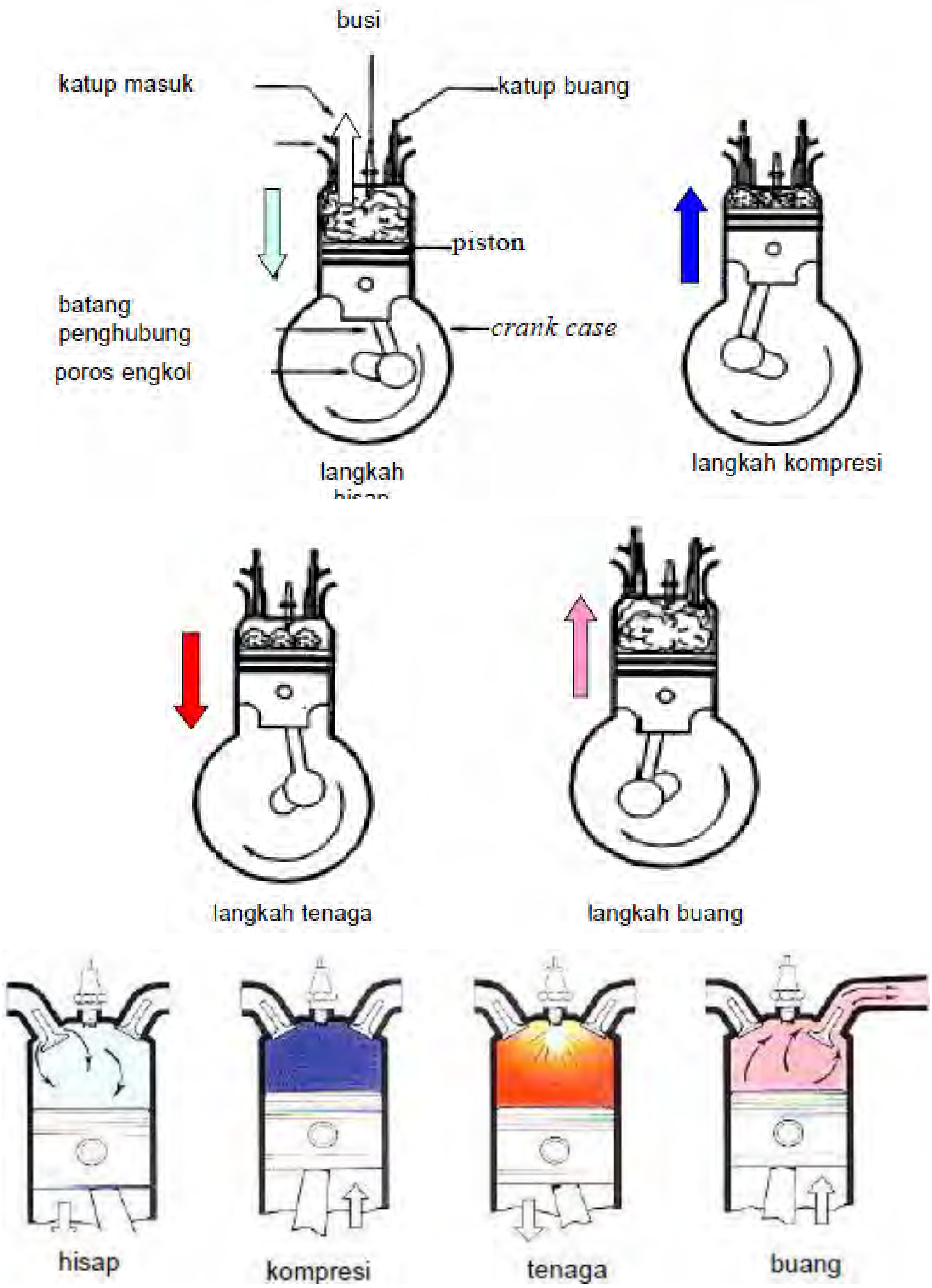
Langkah pertama adalah langkah hisap pada waktu piston bergerak menjauh ruang bakar. Campuran bahan bakar udara masuk ruang bakar.

Langkah kedua adalah mengkompresi campuran bahan bakar udara selama piston bergerak menuju ruang bakar.

Langkah ke tiga adalah penyalaan dan pembakaran, terjadi ekspansi dan piston bergerak menjauh dari ruang bakar.

Langkah ke empat adalah pembuangan pada waktu piston menuju ruang bakar.

Tahun 1876 oleh orang jerman Nicolas August Otto membuat mesin dengan konsep Beau de Rochas, dan mengajukan paten atas namanya [Gambar 2.8 , 2.9]. Mulai saat itu, semua mesin yang dibuat sama dengan mesin Otto, sehingga sampai sekarang siklus yang terkenal adalah siklus Otto. Untuk mesin Otto modern adalah pad Gambar 2.10



Gambar 2.26 Prinsip kerja mesin dengan konsep Beau de Rochas



Gambar 2.28 Mesin Otto pertama

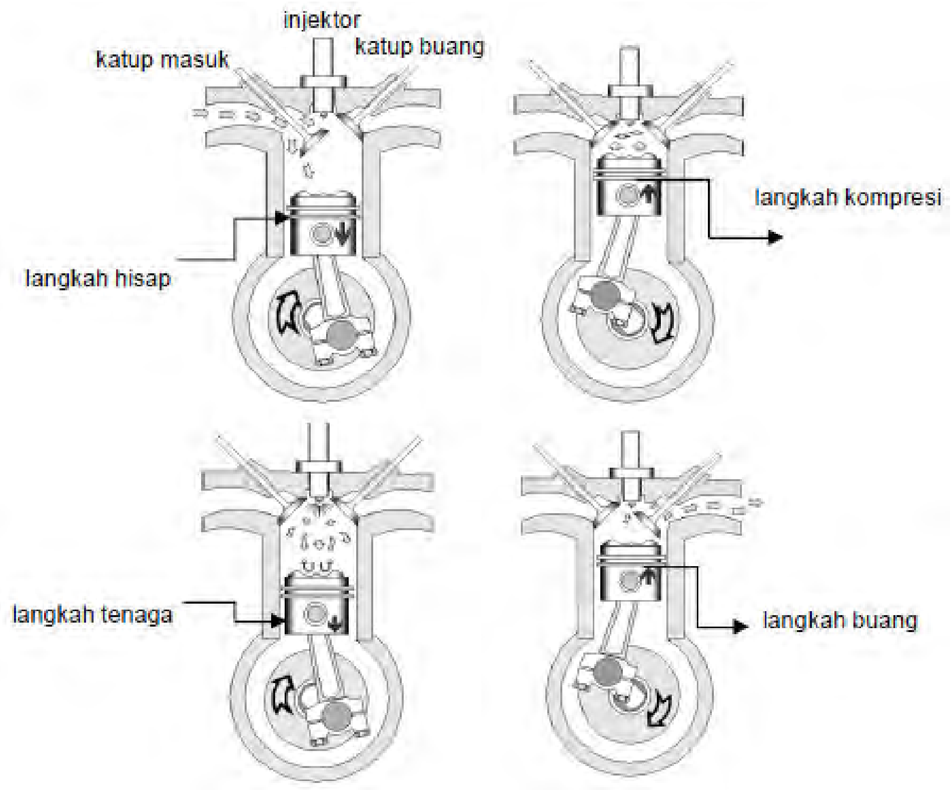


Gambar 2.29 Mesin Otto horizontal

Pada mesin 4 langkah untuk setiap siklusnya ada satu langkah tenaga dan dua putaran poros engkol. Pada tahun 1881 Dugald Clerk mematenkan mesin 2 langkah yang menghasilkan 1 langkah tenaga dalam satu putarannya. Prinsip

kerjanya mengikuti siklus otto, proses ekpansi, pembuangan dan pengisian terjadi pada waktu piston menuju titik mati bawah, sebaliknya proses kompresi dan penyalaan terjadi pada waktu piston menuju titik mati atas.

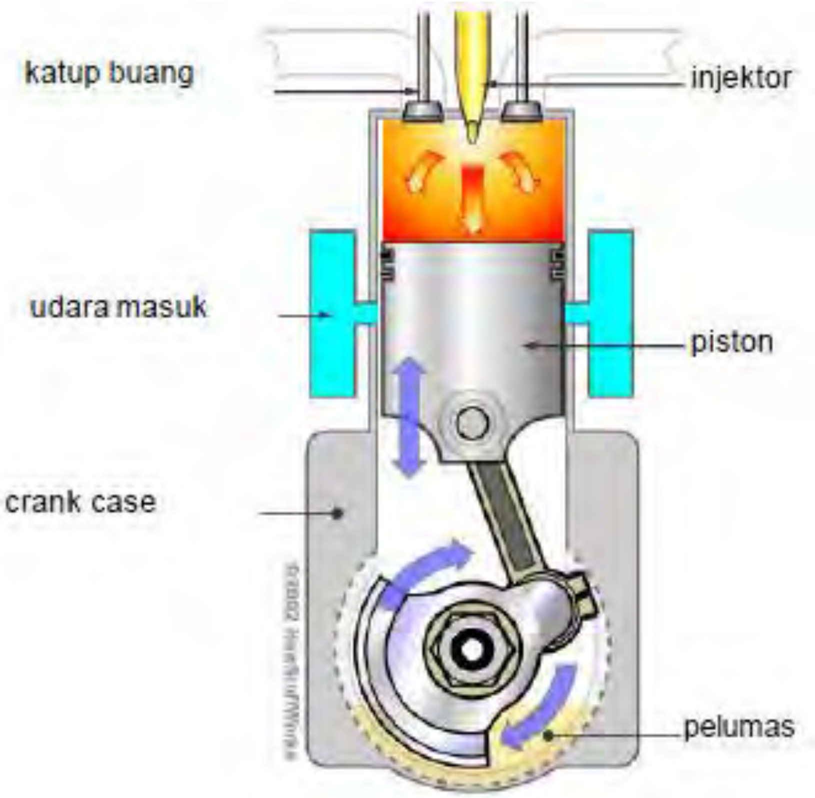
Pada tahun 1892 Rudolf Diesel (Jerman), membuat konsep sekaligus membuat mesinnya dengan prinsip penyalaan kompresi. Udara dimasukkan ke dalam silinder kemudian dikompresi sampai temperaturnya naik. Sebelum piston mencapai titik mati atas, bahan bakar disemprotkan sehingga terjadi proses pencampuran dengan udara bertemperatur tinggi. Karena temperatur nyala bahan bakar tercapai, terjadilah proses penyalaan sendiri, selanjutnya berlangsung proses pembakaran. Langkah tenaga terjadi pada waktu piston mulai bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah. Efisiensi mesin Diesel sekitar 26,2 % menggunakan bahan bakar solar. Pada Gambar 2.11 adalah mesin diesel modern. Dalam perkembanganya mesin 2 langkah juga dapat diaplikasikan pada mesin diesel [Gambar 2.12]



Gambar 2.30 Dasar kerja dari mesin Diesel



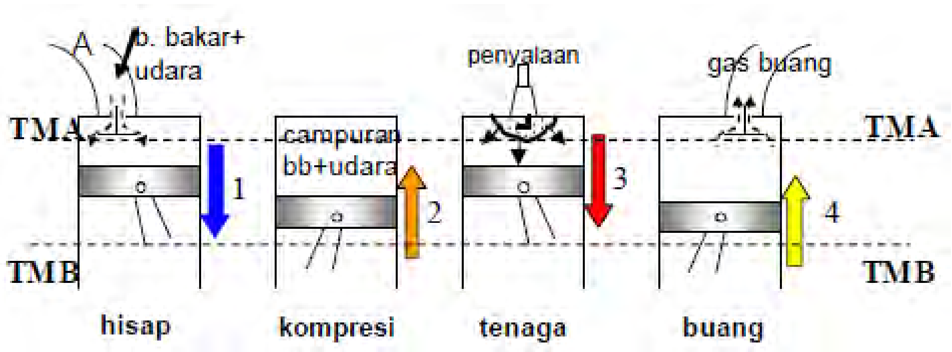
Gambar 2.31 Mesin Diesel modern



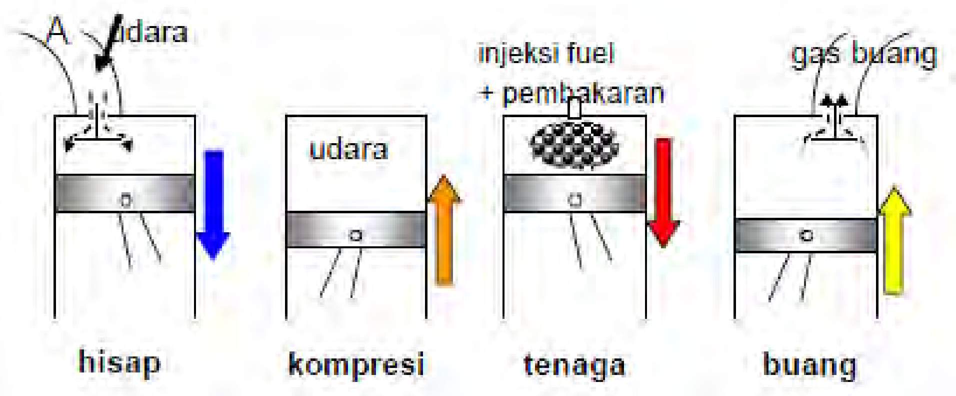
Gambar 2.32 Mesin Diesel 2 langkah

2. Siklus 4 Langkah dan 2 Langkah

2.1 Siklus 4 langkah



MESIN OTTO



MESIN DIESEL

Gambar 2.33 Proses kerja mesin 4 langkah Otto dan Diesel

Motor bakar bekerja melalui mekanisme langkah yang terjadi berulang-ulang atau periodik sehingga menghasilkan putaran pada poros engkol. Sebelum terjadi proses pembakaran di dalam silinder, campuran udara dan bahan-bakar harus dihisap dulu dengan langkah hisap [1]. Pada langkah ini, piston bergerak dari TMA menuju TMB, katup hisap terbuka sedangkan katup buang masih tertutup.

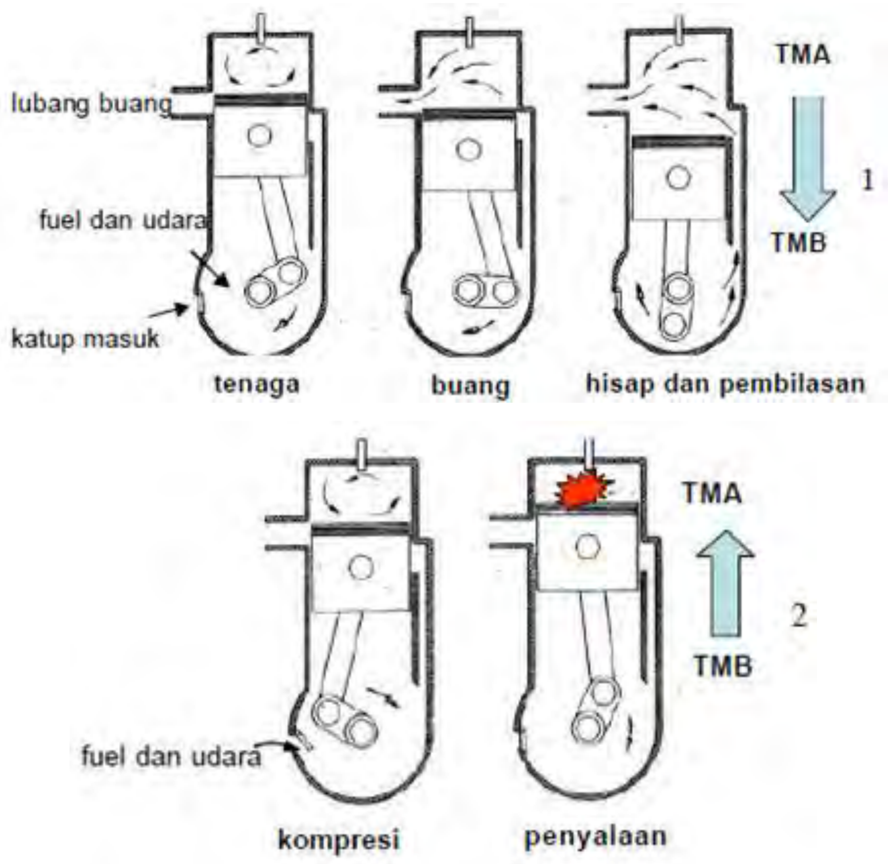
Setelah campuran bahan-bakar udara masuk silinder kemudian dikompresi dengan langkah kompresi [2], yaitu piston bergerak dari TMB menuju TMA, kedua katup hisap dan buang tertutup. Karena dikompresi volume campuran menjadi kecil dengan tekanan dan temperatur naik, dalam kondisi tersebut campuran bahan-bakar udara sangat mudah terbakar. Sebelum piston sampai

TMA campuran dinyalakan dan terjadilah proses pembakaran menjadikan tekanan dan temperatur naik, dan piston masih naik terus sampai TMA sehingga tekanan dan temperatur semakin tinggi. Setelah sampai TMA kemudian torak didorong menuju TMB dengan tekanan yang tinggi, katup hisap dan buang masih tertutup.

Selama piston bergerak menuju dari TMA ke TMB yang merupakan langkah kerja [3] atau langkah ekspansi, volume gas pembakaran bertambah besar dan tekanan menjadi turun. Sebelum piston mencapai TMB katup buang dibuka, katup masuk masih tertutup. Kemudian piston bergerak lagi menuju ke TMA mendesak gas pembakaran ke luar melalui katup buang.

Proses pengeluaran gas pembakaran disebut dengan langkah buang [4]. Setelah langkah buang selesai siklus dimulai lagi dari langkah hisap dan seterusnya. Piston bergerak dari TMA-TMB-TMA-TMB-TMA membentuk satu siklus. Ada satu langkah tenaga dengan dua putaran poros engkol. Motor bakar yang bekerja dengan siklus lengkap tersebut termasuk golongan motor 4 langkah.

2.2 Siklus 2 langkah



Gambar 2.34 Proses kerja mesin 2 langkah

Langkah pertama, setelah terjadi pembakaran piston bergerak dari TMA menuju TMB melakukan ekspansi, lubang buang mulai terbuka. Karena tekanan di dalam silinder lebih besar dari lingkungan, gas pembakaran ke luar melalui lubang buang. Piston terus begerak menuju TMB, lubang buang semakin terbuka dan saluran bilas mulai terbuka. Bersamaan dengan kondisi tersebut tekanan di dalam karter mesin lebih besar daripada di dalam silinder sehingga campuran bahan bakar-udara menuju silinder melalui saluran bilas sambil melakukan pembilasan gas pembakaran. Proses ini disebut pembilasan. Proses ini berhenti pada waktu piston mulai begerak dari TMB menuju TMA dengan lubang buang dan saluran bilas tertutup.

Langkah kedua, setelah proses pembilasan selesai, campuran bahan bakar masuk ke dalam silinder kemudian dikompresi, posisi piston menuju TMA. Sesaat sebelum piston sampai di TMA campran bahanbakar dan udara dinyalakan sehingga terjadi proses pembakaran. Siklus kembali lagi ke proses awal seperti diuraikan di atas.

Dari uraian di atas terlihat piston melakukan dua kali langkah yaitu dari:

[1] TMA menuju TMB; proses yang terjadi: ekspansi dan pembilasan (pembuangan dan pengisian)

[2] TMB menuju TMA; proses yang terjadi: kompresi dan penyalaan Pembakaran

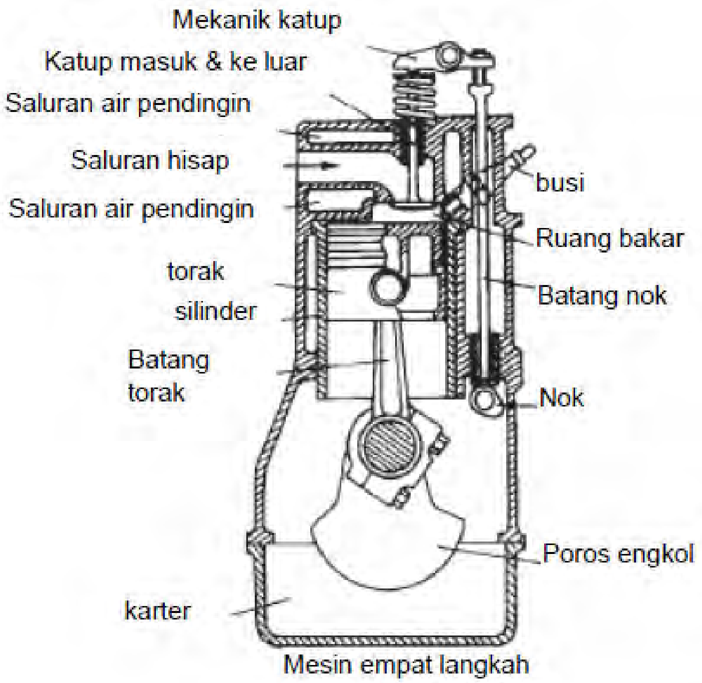
3. Konstruksi dan Bagian Motor Bakar

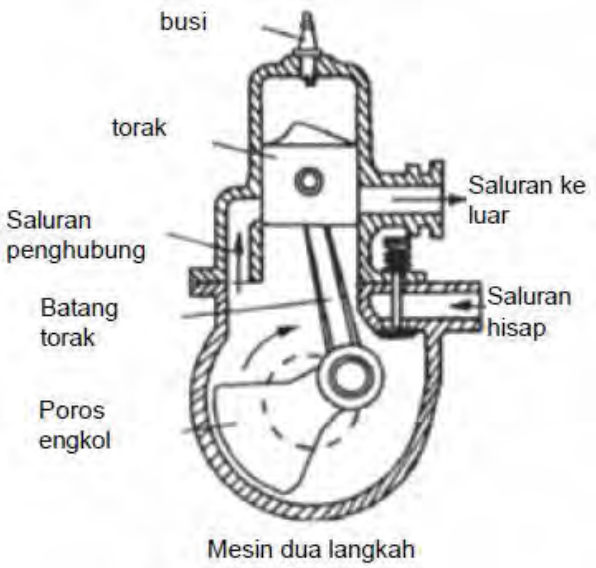
Gambar 2.15 menunjukkan mesin pembakaran dengan penyalaan busi. *Silinder* terpasang pada *blok silinder*, dibagian atas ditutup dengan *kepala sinder.* Di dalam silinder terdapat *piston* yang bergerak bolak-balik.



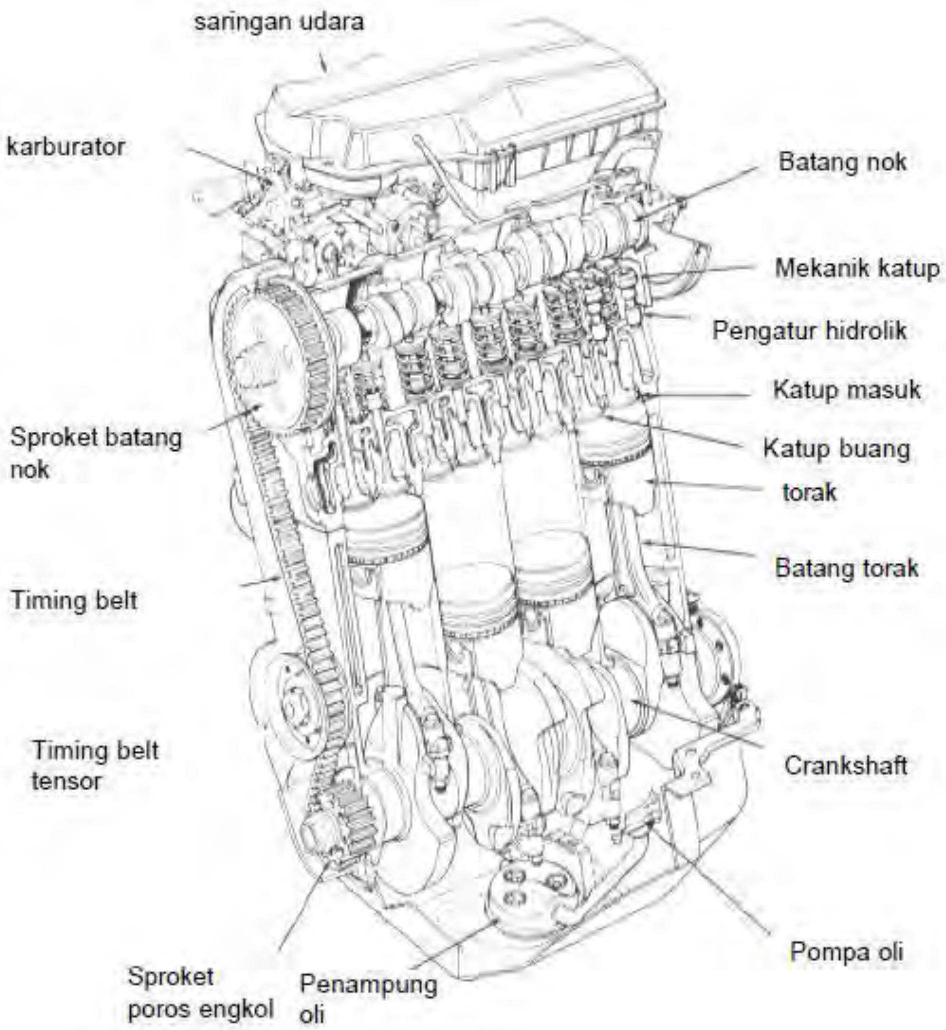
Gambar 2.35 Mesin pembakaran dalam

Ruang diantara bagian atas silinder dan titik mati atas piston disebut dengan *ruang bakar*. Bahan bakar dan udara dicampur terlebih dahulu di *karburator* kemudian masuk silinder melewati *inlet manifold*. Pada karburator terdapat *throttle* untuk mengatur jumlah campuran bahan bakar udara masuk ruang bakar. Pada kepala silinder terdapat *katup masuk*, *katup buang* dan *bus*i. Katup masuk berguna untuk memasukkan campuran bahan bakar dan udara dari karburator, katup ke luar untuk pembuangan gas pembakaran, sedangkan busi untuk penyalaan proses pembakaran.

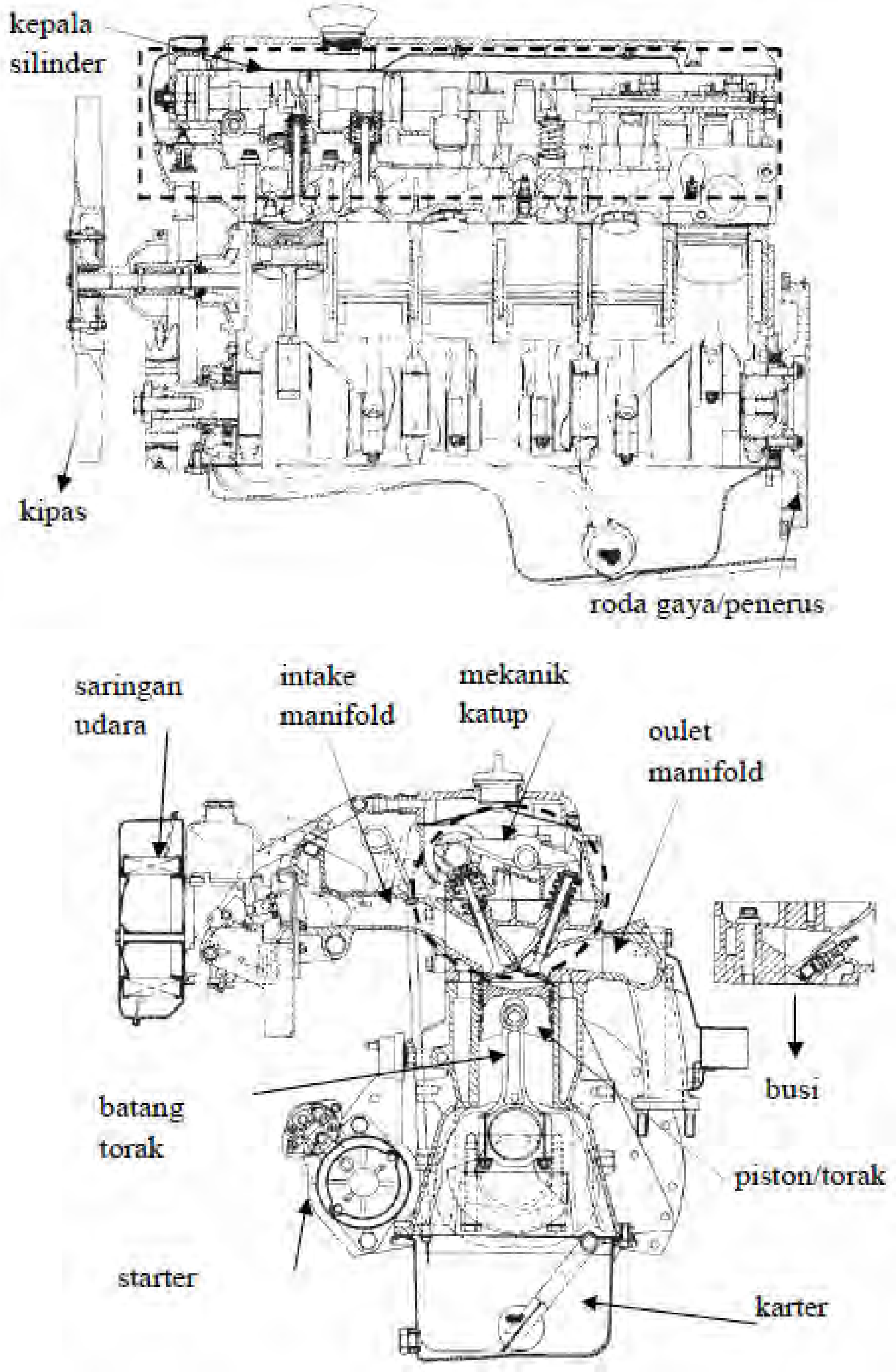




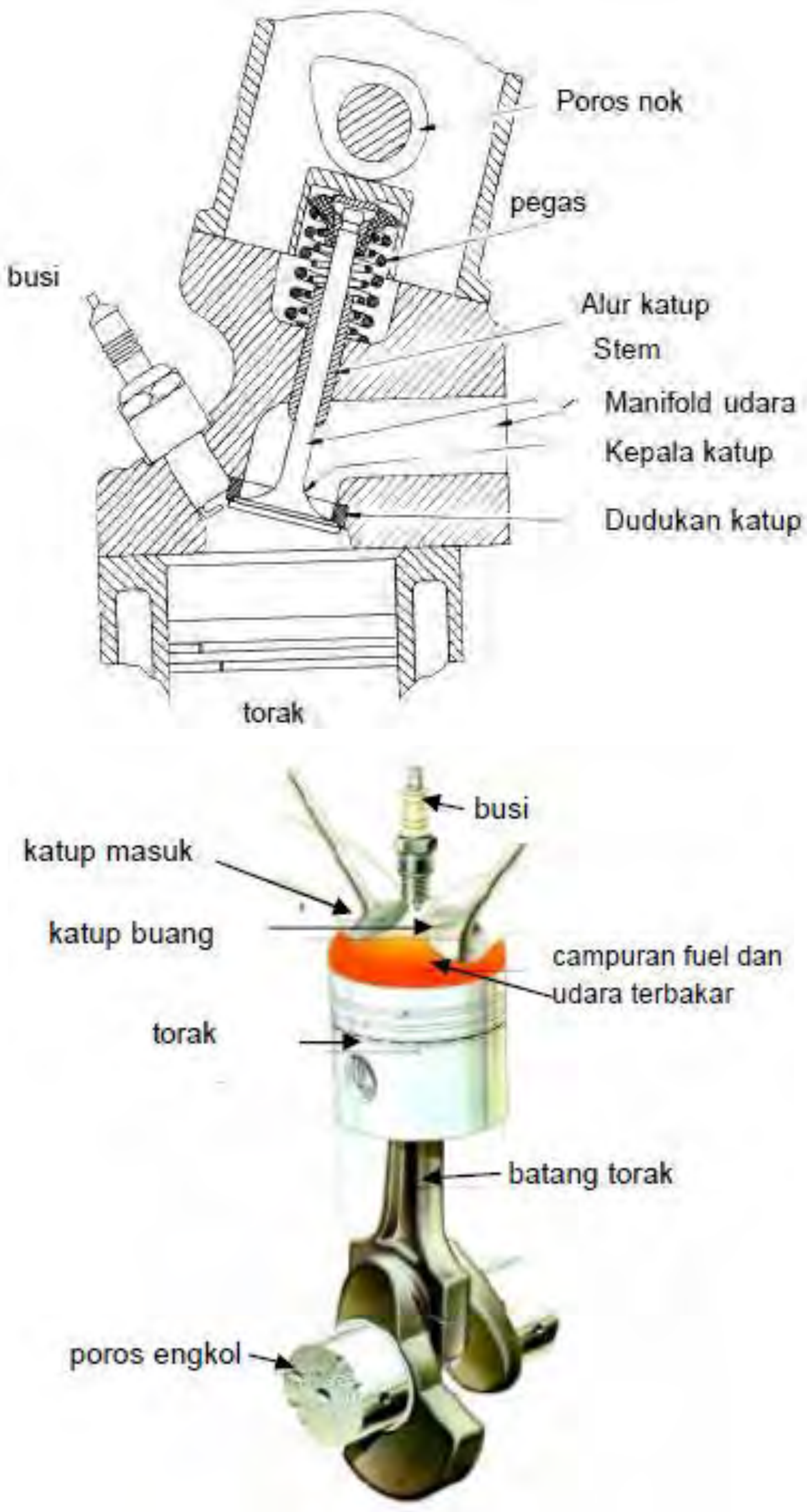
Gambar 2.36 Komponen-komponen mesin 4 tak dan 2 tak



Gambar 2.37 Komponen mesin multi silinder



Gambar 2.38 Komponen mesin tampak depan dan samping



Gambar 2.39 Komponen mesin mekanik katup dan torak

4. Siklus Termodinamika Motor Bakar

Analisis siklus termodinamika merupakan dasar penting dalam mempelajari motor bakar. Proses kimia dan termodinamika yang terjadi pada motor bakar sangatlah rumit untuk dianalisis, sehingga diperlukan suatu siklus yang diidealkan guna memudahkan analisis motor bakar. Siklus yang diidealkan tentunya harus mempunyai kesamaan dengan siklus sebenarnya, yaitu dalam hal urutan proses dan perbandingan kompresinya. Di dalam siklus aktual, fluida kerja adalah campuran bahan bakar udara dan produk pembakaran, akan tetapi di dalam siklus yang diidealkan fluidanya adalah udara. Jadi siklus ideal dapat disebut dengan siklus udara.

4.1 Siklus udara ideal

Penggunaan siklus ideal berdasarkan pada beberapa asumsi sebagai berikut:

- Fluida kerja adalah udara yang dianggap sebagai gas ideal dengan kalor sepesifik konstan (tidak ada bahan bakar)
- Langkah hisap dan buang pada tekanan konstan
- Langkah kompresi dan tenaga pada keadaan adiabatis
- Kalor diperoleh dari sumber kalor dan tidak ada proses pembakaran atau tidak ada reaksi kimia
- Siklus udara pada motor bakar yang akan dibahas adalah
- Siklus udara pada volume konstan (Siklus Otto)
- Siklus udara pada tekanan kostan (Siklus Diesel)
- Siklus udara tekanan terbatas (Siklus gabungan)

4.2 Udara Volume Konstan

Siklus ideal volume kostan ini adalah siklus untuk mesin otto. Siklus volume konstan sering disebut dengan siklus ledakan *(explostion cycle)* karena secara teoritis proses pembakaran terjadi sangat cepat dan menyebabkan peningkatan tekanan yang tiba-tiba. Penyalaan untuk proses pembakaran dibantu dengan loncatan bunga api. Nicolas August Otto menggunakan siklus ini untuk membuat mesin sehingga siklus ini sering disebut dengan siklus otto.

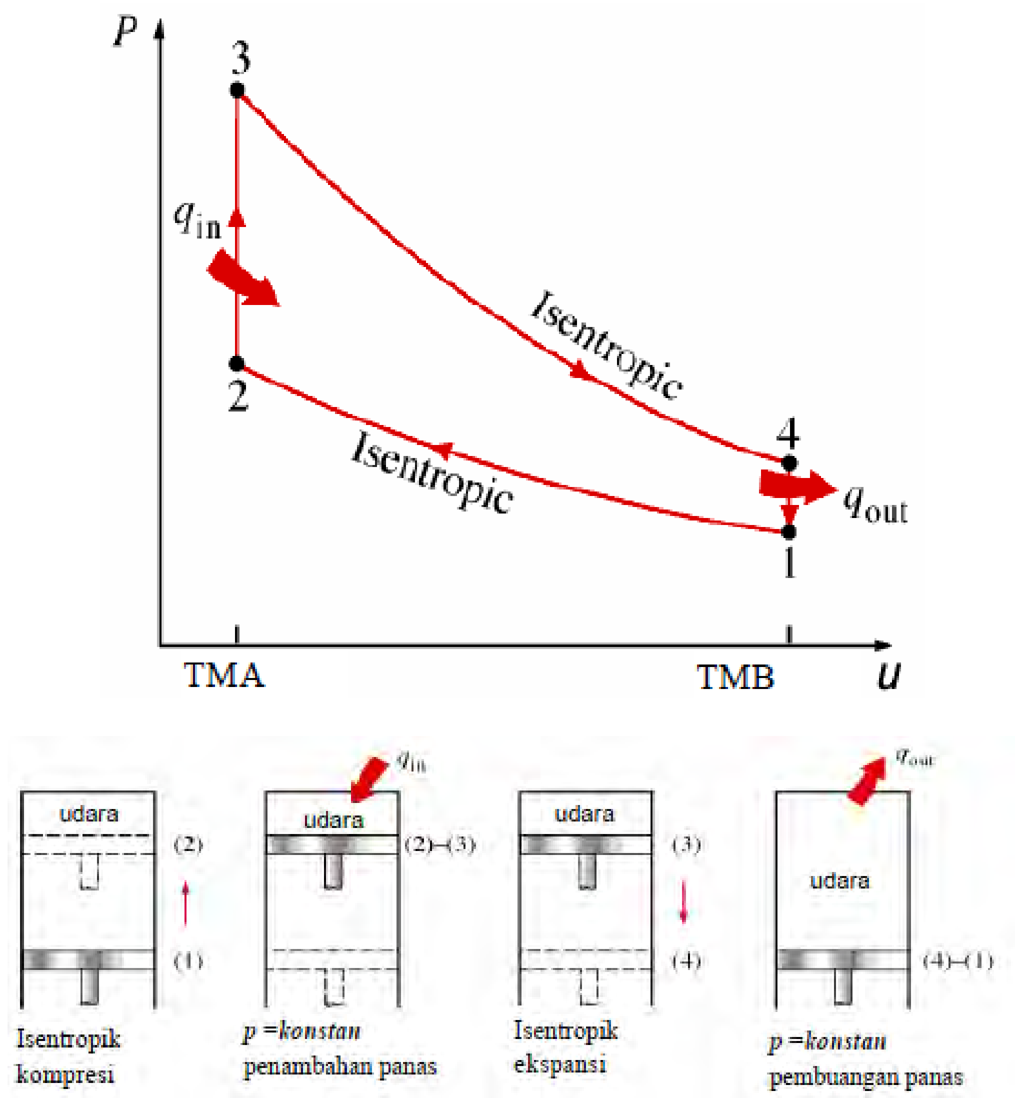
Gambar 2.1 adalah diagram *p-V* untuk siklus ideal otto. Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

[1] Langkah hisap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.

[2] Langkah kompresi (1-2) merupakan proses adiabatis Proses pembakaran volume konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume kostan.

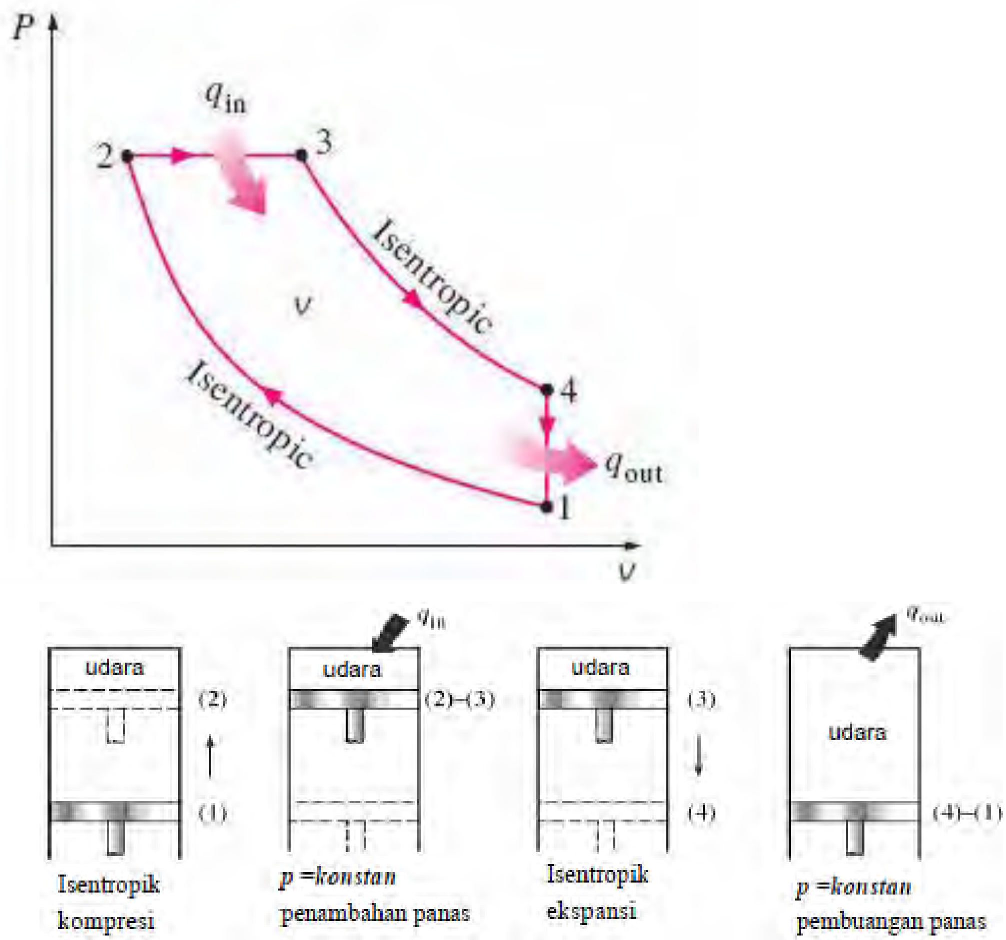
[3] Langkah kerja (3-4) merupakan proses adiabatis Proses pembuangan kalor (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konsatan

[4] Langkah buang (1-0) merupakan proses tekanan konstan, gas pembakaran dibuang melalui katup buang



Gambar 2.40 Siklus udara volume konstan

4.3 Siklus Udara Tekanan Konstan



Gambar 2.41 Siklus Udara Tekanan Konstan

Siklus ideal tekanan kostan ini adalah siklus untuk mesin diesel. Gambar 2.2 adalah diagram p-V untuk siklus ideal Disel. Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

[1] Langkah hisap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.

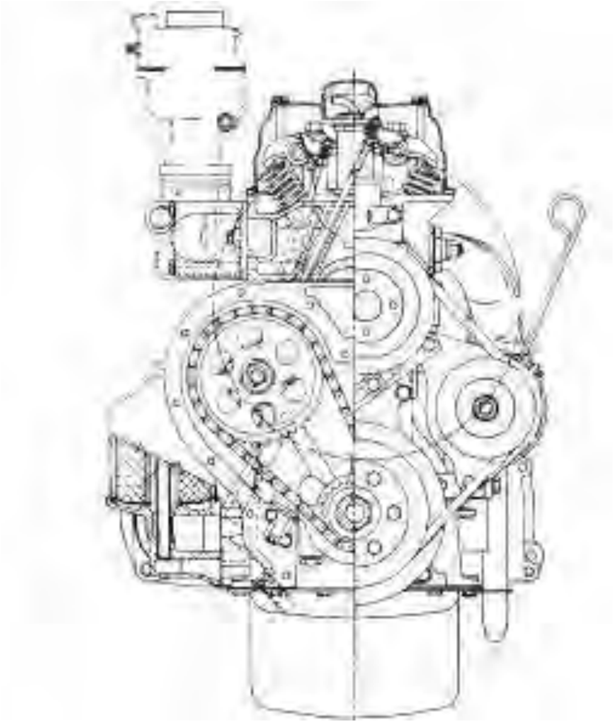
[2] Langkah kompresi (1-2) merupakan proses adiabatis Proses pembakaran tekanan konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada tekanan konstan.

[3] Langkah kerja (3-4) merupakan proses adiabatis Proses pembuangan kalor (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konsatan

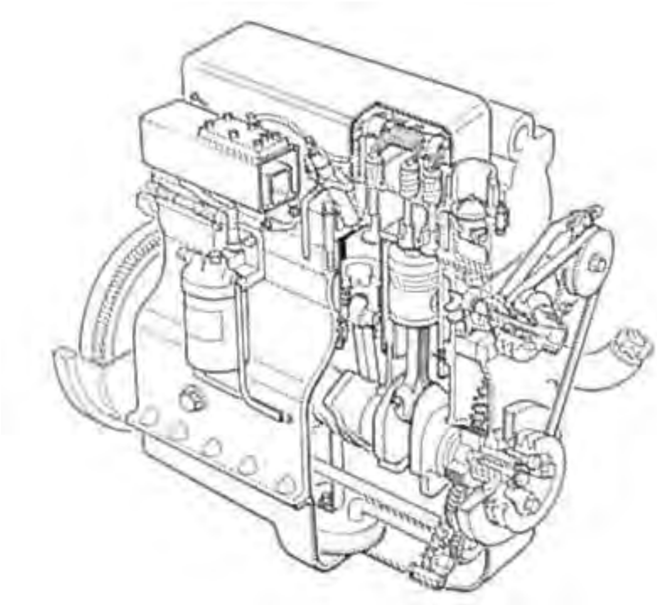
[4] Langkah buang (1-0) merupakan proses tekanan konstan

Dapat dilihat dari urutan proses di atas bahwa pada siklus tekanan kostan pemasukan kalornya pada tekanan kostan. Berbeda dengan siklus volume konstan diman proses pemasukan kalornya pada kondisi volume konstan. Siklus

tekanan konstan sering disebut dengan siklus diesel. Rudolf Diesel yang pertama kali merumuskan siklus ini dan sekaligus pembuat pertama mesin diesel. Proses penyalaan pembakaran tejadi tidak menggunakan busi, tetapi terjadi penyalaan sendiri karena temperatur di dalam ruang bakar tinggi karena kompresi.



MESIN OTTO

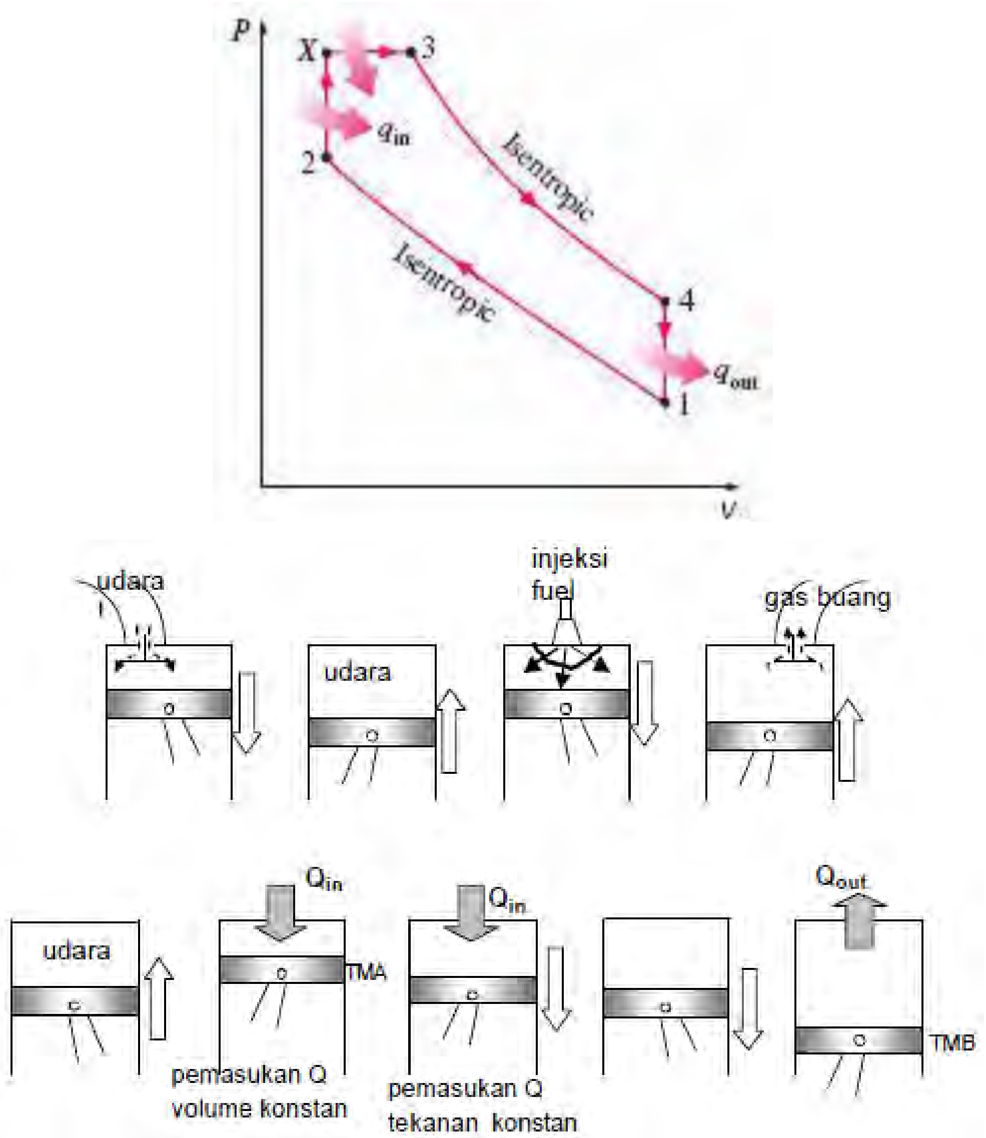


MESIN DISEL

Gambar 2.42 Mesin otto dan mesin disel

4.4 Siklus Udara Gabungan

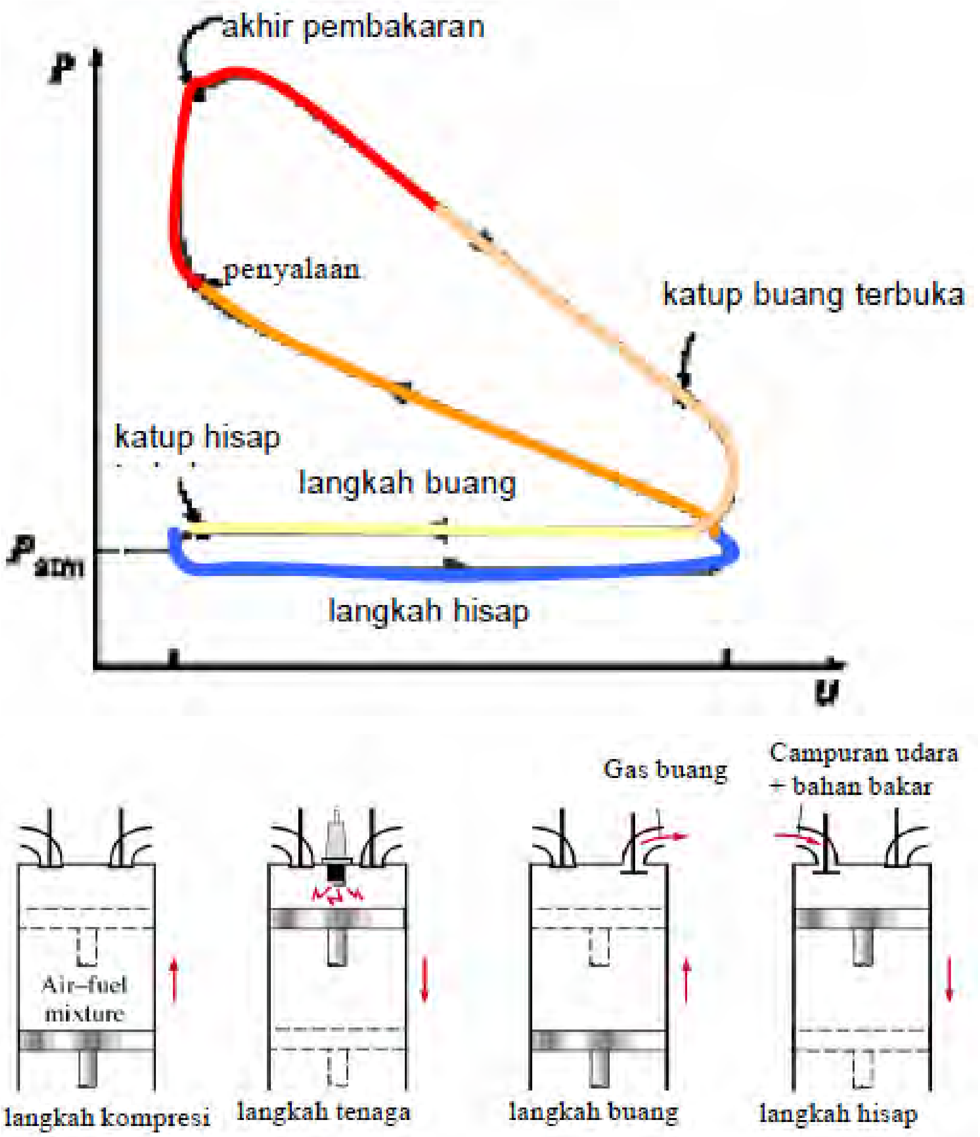
Perbedaan dari dua siklus yang telah diuraikan sebelumnya, yaitu pada proses pembakaran dimana kalor dianggap masuk sistem. Sedangkan pada siklus yang ketiga yaitu siklus gabungan, proses pemasukan kalornya menggunakan dua cara yaitu pemasukan kalor volume konstan dan tekanan konstan. Dari cara pemasukan kalornya terlihat bahwa siklus ini adalah gabungan antara siklus volume konstan dan tekanan konstan, karena itu siklus ini sering disebut siklus gabungan Diagramnya p-V dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.43 Siklus gabungan

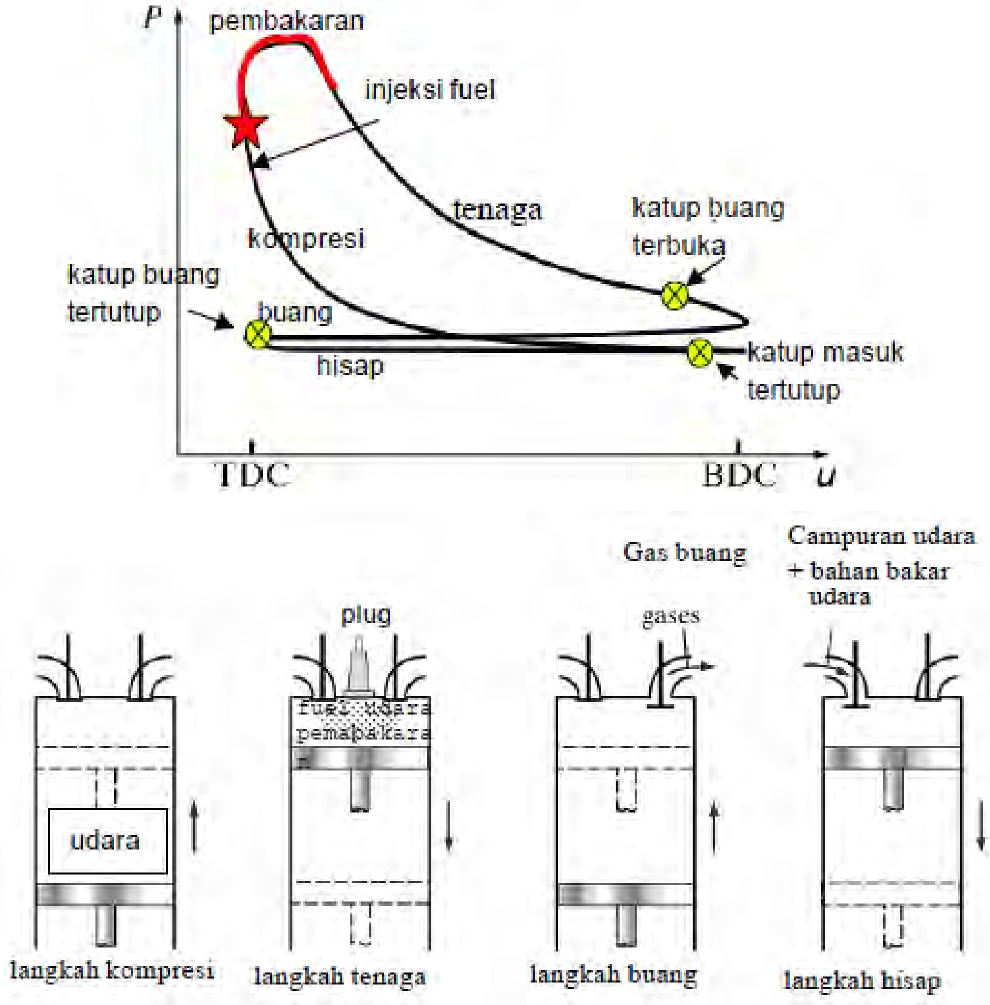
4.5 Siklus aktual

Gambar 2.5 di atas adalah siklus aktual dari mesin otto. Fluida kerjanya adalah campuran bahan bakar dan udara, jadi ada proses pembakaran untuk sumber panas.



Gambar 2.44 Siklus aktual otto

Pada langkah hisap, tekanannya lebih rendah dibandingkan dengan langkah buang. Proses pembakaran dimulai dari penyalaan busi (*ignition*) sampai akhir pembakaran. Proses kompresi dan ekspasi tidak adiabatis, karena terdapat kerugian panas yang ke luar ruang bakar.

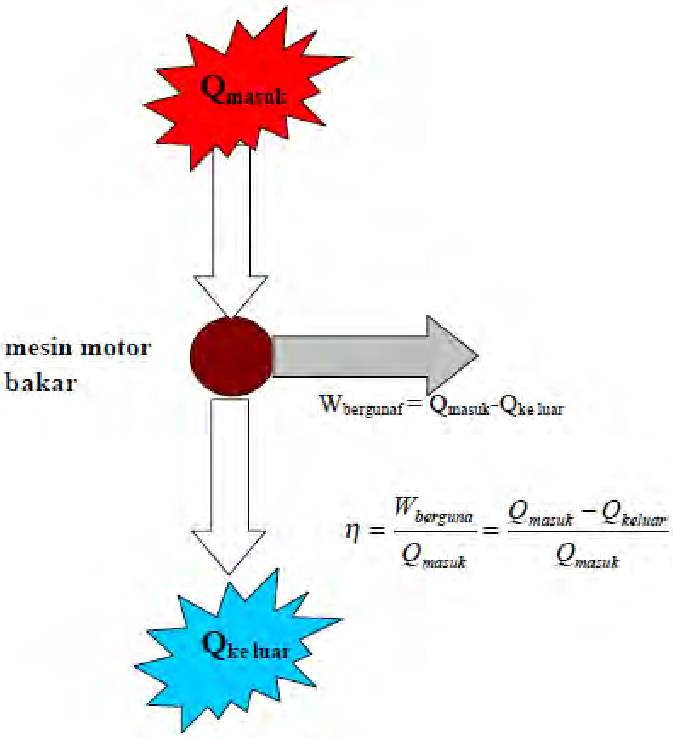


Gambar 2.45 Siklus aktual disel

Gambar 2.6 di atas adalah siklus aktual dari mesin diesel. Pada mesin ini, langkah hisap hanya udara saja, bahan bakar disemprotkan melalui nosel di kepala silinder. Proses pembakaran untuk menghasilkan panas terjadi karena kompresi.

4.6 Menghitung Efiseinsi Siklus Udara Ideal

Dari hukum termodinamika II dapat diketahui bahwa tidak mungkin membuat suatu mesin yang dapat mengubah semua energi yang masuk menjadi kerja semuanya. Dengan kata lain, harus ada sebagain energi yang kebuang ke lingkungan. Jadi, kerja yang berguna adalah pengurangan dari jumlah energi yang masuk dengan energi yang terbuang. Perbandingan antara kerja berguna dengan jumlah energi yang masuk ke mesin adalah definisi dari efisiensi.



Gambar 2.46 Bagan efisiensi kerja dari motor bakar

4.6.1 Efisiensi dari siklus Otto

Berdasarkan diagram p-V untuk siklus otto dapat digunakan untuk menganalisis atau menghitung efisiensi siklus sebagai berikut. Energi kalor yang masuk pada volume kostan adalah sebesar:

$$Q_m = mc_v \Delta T \text{ .}$$

$$Q_m = mc_v (T_3 - T_2)$$

dengan Q_m = adalah kalor masuk
m = massa fluida
c_v = panas jenis pada volume konstan
ΔT = perbedaan temperatur

Energi yang ke luar sistem pada volume konstan adalah

$$Q_l = mc_v \Delta T$$

$$Q_l = mc_v (T_4 - T_1)$$

dengan Q_l = adalah kalor ke luar
m = massa fluida
c_v = panas jenis pada volume konstan
ΔT = perbedaan temperatur

Definisi dari efisiensi yaitu kerja berguna dibagi dengan energi kalor masuk

$$\eta = \frac{W}{Q_m} = \frac{\text{kerja berguna}}{\text{kalor masuk}}$$

$$\eta = \frac{Q_m - Q_l}{Q_m} = \frac{mc_v(T_3 - T_2) - mc_v(T_4 - T_1)}{mc_v(T_3 - T_2)}$$

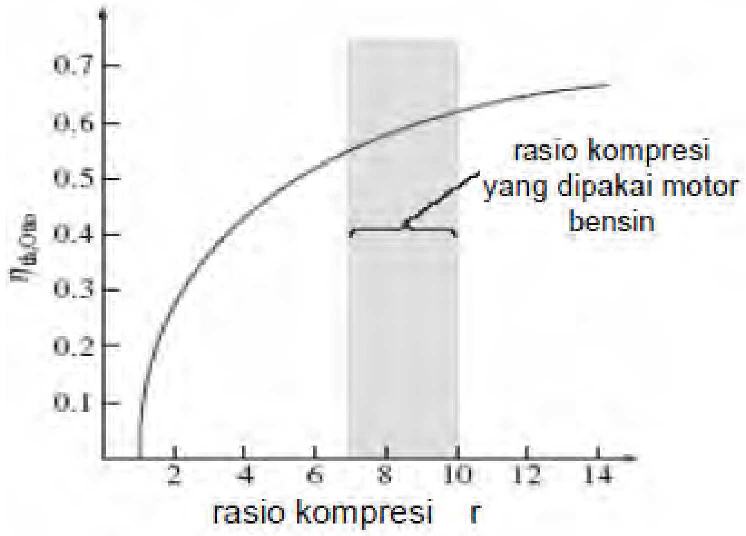
$$\eta = \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Apabila rasio kompresi didefinisikan sebagi perbandingan antara volume silinder dibagi dengan volume ruang bakarnya yaitu:

$$r = \frac{\text{volume silinder}}{\text{volume ruang bakar}} = \frac{V_l + V_s}{V_s}$$

maka rumusan efisiensi di atas dapat dituliskan sebagai

$$\eta = 1 - \frac{1}{(r)^{k-1}}$$



Gambar 2.47 Grafik efisiensi terhadap rasio kompresi mesin otto

Dapat dilihat dari Gambar 2.8, bahwa efisiensi siklus otto akan naik apabila kita menaikkan rasio kompresinya. Kenaikan rasio kompresi mesin otto dibatasi oleh peritiwa *knocking,* yaitu suara berisik karena terjadi ledakan dari pembakaran spontan dari mesin otto. *Knocking* dapat menurunkan daya sehingga efisiensinya pun menurun.

4.6.2 Efisiensi siklus tekanan konstan

Dengan definisi yang sama untuk rasio kompresi, efisiensi dari siklus tekanan konstan adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{1}{r^{k-1}}\left(\frac{\beta^{k}-1}{k(\beta-1)}\right)$$

Dengan menaikkan rasio kompresi efisiensi siklus tekanan konstan atau diesel semakin naik. Kenaikan rasio kompresi berarti tekanan kompresi juga tinggi sehingga material yang dibutuhkan harus lebih kuat. Pada rasio kompresi yang sama efisiensi mesin otto lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel, akan tetapi mesin otto tidak bekerja pada rasio kompresi disel karena terlalu tinggi.

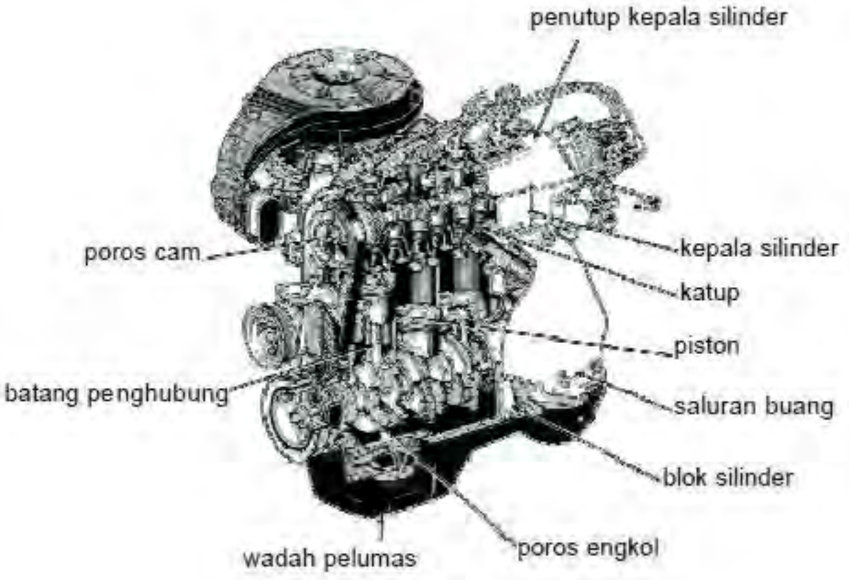
5. Mesin Motor Bakar

Mesin merupakan suatu jenis pesawat kerja yang mengubah energi kima bahan bakar menjadi energi mekanik. Untuk melakukan proses perubahan, mesin mempunyai komponen-komponen yang bekerja kompak menjadi satu kesatuan. Komponen mesin dibagi menjadi dua yaitu mesin dan kelengkapan mesin. Komponen pertama mesin merupakan pembangkit tenaga, sedangkan yang kedua merupakan komponen yang menjamin mesin bekerja dengan baik untuk pembangkitan tenaga. Rincian komponen mesin adalah:

1. Blok silinder
2. Kepala silinder
3. Piston atau torak
4. Batang torak
5. Poros engkol
6. Bearing atau bantalan
7. Roda penerus
8. Mekanik Katup

Seperti telah disebutkan di atas bagian, komponen mesin yang pertama berfungsi sebagai pembangkit tenaga. Proses ini berlangsung di dalam silinder. Sumber

energi berasal dari energi kimia bahan bakar yang masuk melalui melalui mekanisme katup di kepala silinder. Bahan bakar setelah masuk ke silinder kemudian dibakar terjadilah proses pembakaran. Proses pembakaran menghasilkan tekanan dan temperatur tinggi, kemudian terjadi ekpansi dan kompresi volume sehingga torak terdorong menghasikan gerakan bolak-balik yang diteruskan ke batang torak. Oleh batang torak gerakbolak-balik diubah menjadi gerakan rotasi pada poros engkol. Poros engkol ditumpu dengan bantalan pada bak engkol *(crankcase)* dan pada ujungnya dipasang roda penerus.

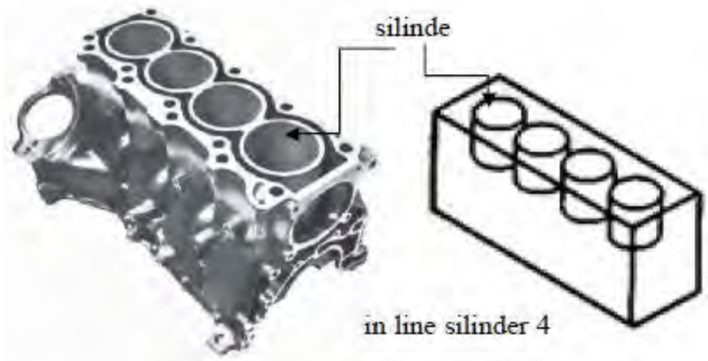


Gambar 2.48 Mesin dan komponen-komponennya

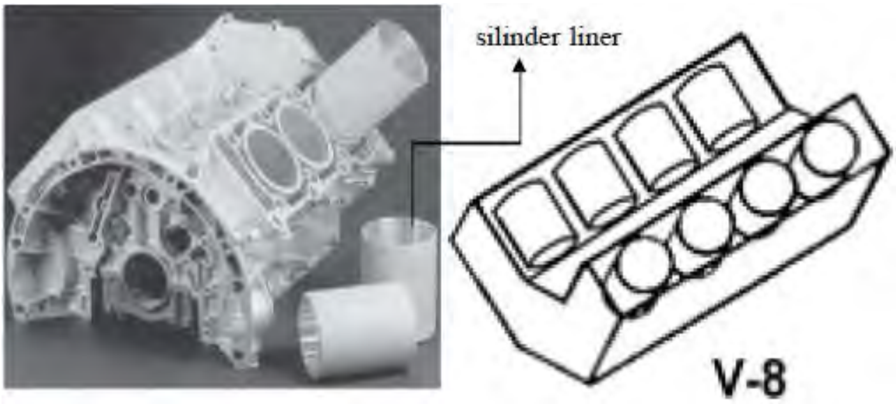
5.1 Blok Silinder

Blok silinder adalah bentuk dasar dari mesin, terbuat dari material besi cor, tetapi dapat juga dengan paduan aluminium dengan tujuan mengurangi berat mesin [Gambar 2.49]. Susunan silinder dipasang padablok silinder, kepala silinder menutup bagian atas, bagian bawah terdapat bak engkol tempat tumpuan poros engkol sumbu nok dan mekanik katup. Untuk mobil berpendingin air, pada blok silineder terdapat lubang-lubang yang merupakan mantel air tempat sirkulasi air pendingin yang mengelilingi susunan silinder. Pada sisi blok dipasang kelengkapanklengkapan mesin seperti starter, alternator, pompa bensin dan distributor

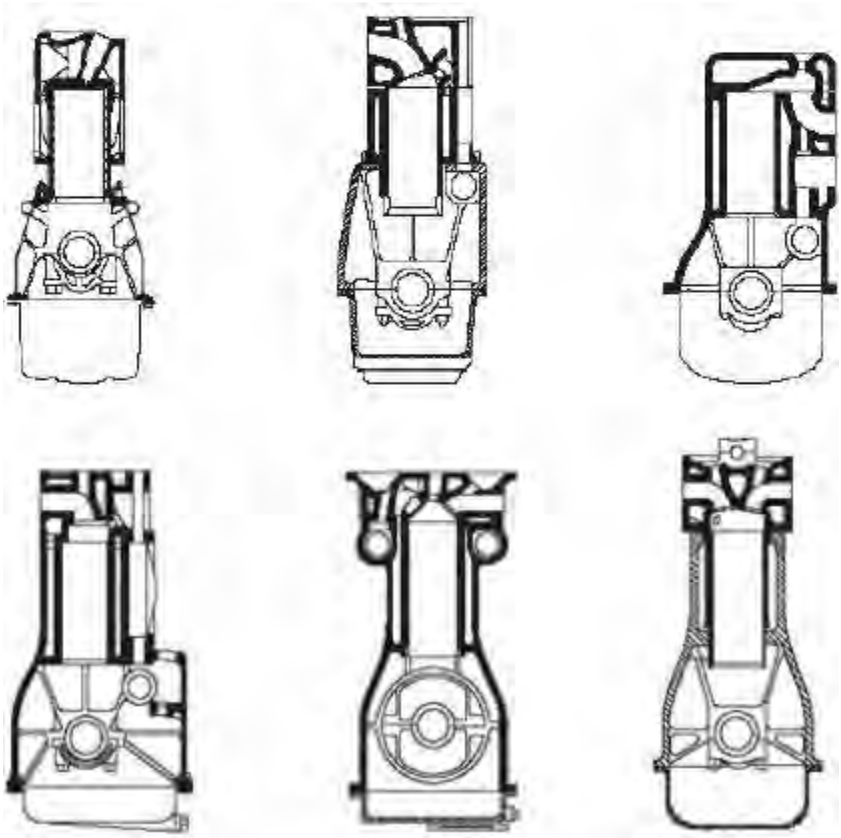
.



Gambar 2.49 Blok silinder model in line



Gambar 2.50 Blok silinder model V-8



Gambar 2.51 Model susunan blok silinder

5.2 Silinder

Silinder adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat perpindahan tenaga panas menjadi tenaga mekanik dengan gerakan torak bolak-balik karena ekspansi dan kompresi. Karena proses pembakaran menghasilkan tekanan yang tinggi dimungkinkan terjadi kebocoran gas ke luar ruang silinder menuju bagian bawah mesin. Kebocoran dapat melalui celah antara dinding silinder dengan ring pada torak. Kebocoran akan menurunkan tekanan sehingga mesin kehilangan sebagian energinya. Kebocoran terjadi karena terjadi keausan karena gesekan gerakan piston dengan dinding silinder. Untuk mengatasi kondisi ini dinding silinder harus diperkeras atau dengan dilapisi chrome.

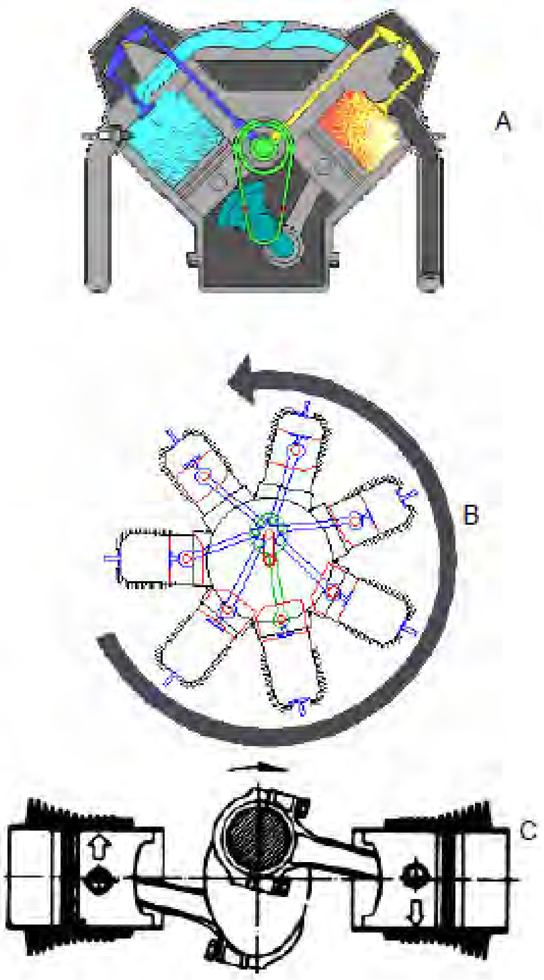
Apabila dinding silinder sudah mengalami keausan sehingga diameter silinder bertambah, kebocoran akan membesar, tenaga mesin drop dan oli dapat masuk ke dalam silinder. Untuk memperbaiki kondisi ini dinding silinder dibor kembali. Karena dinding dibor sehingga diameternya bertambah diperlukan torak yang sesuai dan lebih besar *(oversize).*

Metode untuk menghindari keausan yang sering digunakan adalah dengan pemasangan pelapis silinder atau silinder liner [Gambar 2.50]. Keuntungan dari silinder liner ini dalah lebih tahan dari keausan dan apabila terjadi kerusakan dapat diganti, sehingga tidak ada metode pengeboran dengan torak *oversize*. Model dari pelapis ini ada dua yaitu pelapis silinder basah dan pelapis silinder kering. Pelapis silinder basah dikelilingi langsung dengan mantel air untuk pendinginan, sedangkan pelapis silinder kering tidak berhubungan langsung dengan mantel air.

Jumlah silinder

Untuk menaikkan daya mesin dibutuhkan volume silinder yang besar, tetapi tidak praktis hanya dengan menggunakan satu silinder.Untuk tiu, mesin berdaya besar pada umumnya digunakan multisilinder [Gambar 2.49, 2.50]. Jumlah silinder biasanya genap antara 2 sampai 13. Untuk mesin di bawah 1000 cc biasanya bersilinder 2 atau 4, sedangkan dari 1000 cc sampai 2000 cc besilinder 4 atau 6 dan di atas 2000 cc bersilinder 6 atau 8 silinder.

Pada mesin 4 tak, setiap dua kali putaran poros engkol hanya menghasilkan satu kali tenaga pada 3600, tetapi dengan multi silinder, misalkan mesin 4 tak 4 silinder setiap kali berputar 7200 maka pada setiap sudut engkol 1800 terjadi langkah tenaga, sehingga sangat menguntungkan.



Gambar 2.52 Bentuk susunan silinder

Model susunan silinder bermacam-macam dan selalu mengalami perkembangan. Bentuk susunan dimaksudkan untuk beberapa hal seperti mengurangi getaran, memperkecil ukuran mesin sehingga beratnya turun, dan tujuan lainnya. Model susunannya menggunakan model satu garis memanjang [Gambar 2.49], model V [Gambar 2.50, 2.86], model beralawanan horizontal [gambar 2.52], dan ada juga yang model melingkar [Gambar 2.52] untuk penggerak baling-baling pesawat terbang konvesional.

Blok silinder dengan susunan model V, silinder-silinder tersusun lurus pada kedua bagian blok silinder, silinder-silinder yang ada pada dua bagian blok

menghadap poros engkol. Untuk mesin 8 silinder bentuk V, mempunyai 4 silinder pada masing masing sisinya. Keuntumgan dari model ini adalah geteran mesin yang rendah karena mesin sangat *balance* dan ukuran mesin mejadi lebih kecil dengan alasan jumlah silinder terbagi mejadi dua sisi.

Perbandingan antara diameter silinder dengan panjang langkah sangat penting untuk perancangan. Ada tiga macam model:

[1] Mesin dengan D/L kecil atau L>D, dinamakan mesin langkah panjang. Model mesin ini sangat menguntungkan bagi proses pembakaran, karena langkahnya yang panjang, waktu bagi langkap hisap lebih lama sehingga pencampuran bahan-bakar dan udara lebih baik. Kerugiannya adalah untuk memperoleh putaran mesin yang sama, kecepatan piston mesin langkah panjang lebih tinggi. Dapat dilihat dari rumus menghitung kecepatan rata-rata yaitu $U = 2xLxn$. Untuk n yang sama terlihat mesin langkah panjang kecepatan pistonnya lebih tinggi. Pada kecepatan piston yang tinggi gesekan semakin besar sehingga mempercepat keausan.

[2] Mesin dengan D/L = 1 dinamakan *square engine* dan mesin dengan D/L > 1 dinamakan *over square engine*, mempunyai kelebihan karena kecepatan piston rata-rata rendah sehingga keausan silinder dapat dihindari. Dengan memperbesar diameter silinder, katup-katup menjadi lebih besar, efeknya pada kecepatan piston yang tinggi efisiensi pengisian dipertahankan baik. Kerugian dari model mesin ini adalah dengan semakin besar diameter silinder, ruang bakarnya pun menjadi lebih luas, sehingga untuk kecepatan rendah, efisiensi pembakaranya rendah, mesin mejadi dingin dan ada kemungkinan mesin mati.

5.3 Bak engkol

Bak engkol terdapat pada bagian bawah blok silinder mesin [Gambar 2.53]. Pada bak engkol terdapat bantalan untuk tumpuan poros engkol. Sumbu nok juga ada yang dipasang paralel dengan poros engkol. Pada bagian bawah bak engkol terdapat pan oil atau karter. Karter berguna untuk menampung minyak pelumas mesin dan terbuat dari baja press.



Gambar 2.53 Bak engkol

5.4 Kepala silinder

Kepala silinder terletak di bagian atas kepala silinder [Gambar 2.54]. Terdapat ruang bakar berbentuk cekungan, di kepala silinder juga terdapat lubang-lubang untuk pemasangan busi dan mekanisme katup. Antara kepala silinder dengan silinder diselipkan gasket. Fungsi gasket adalah untuk mencegah kebocoran-kebocoran gas dari dalam silinder. Meterial gasket harus tahan temperatur tinggi, biasanya terbuat dari plat tembaga yang dilapisi asbes.



Gambar 2.54 Kepala silinder

Ruang bakar yang terdapat pada kepala silinder adalah tempat proses pembakaran, sehingga kepala silinder harus terbuat dari material yang tahan pada temperatur dan tekanan tinggi. Material yang digunakan adalah besi cor atau paduan aluminium yang dapat membatasi pemuian. Sama halnya dengan blok silinder, kepala silinder juga ada yang dilengkapi dengan mantel air yang terhubung dengan mantel air yang ada pada blok silinder. Mesin yang

berpendingin udara pada kepala silindernya dipasang sirip-sirip untuk pendiginan.

Bentuk ruang bakar

Ruang bakar seperti yang sudah disebutkan adalah ruangan dimana dimulai proses pembakaran. Terdapat mekanisme katup dengan model bentuk katup akan mempengaruhi ruang bakar. Pada umumnya ada tiga macam bentuk yaitu:

[1] Bentuk setengah lingkaran [gambar 2.55a]

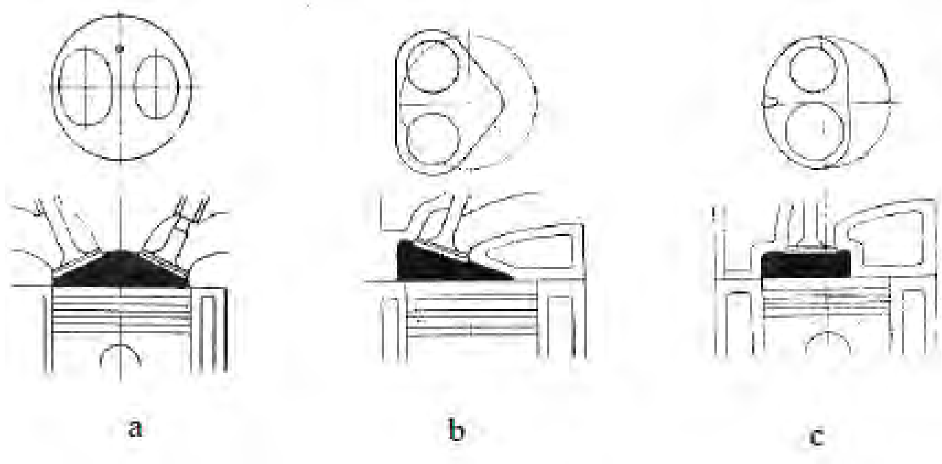
Katup pada model ini mempunyai posisi katup di atas memusat pada sumbu tengah silinder. Penempatannya tidak memakai banyak tempat, karena mempunyai permukaan yang terkecil per unit volume, pengaruh panas yang hilang juga minimal. Katup dapat dibuat lebih besar, sehingga pengisiannya lebih efisien. Kerugian katup model ini adalah penyusunan mekanik katupnya rumit dan pembuatannya tidak mudah. Ruang bakarnya membentuk kerucut dan biasanya busi dipasangkan di bagian tengah.

[2]Model baji [gambar 2.55a]

Aliran udara model ini lebih ringan tanpa banyak halangan karena kelengkungan saluran intake dan outlet tidak banyak. Dengan kata lain tidak banyak kerugian aliran sehingga dapat menaikkan efisiensi volumetrik dan pengisian. Gas sisa lebih mudah dibuang ke luar silinder sehingga campuran udara bahan bakar lebih banyak masuk silinder. Konstruksi katupnya lebih sederhana. Ruang bakarnya membentuk limas.

[3] Model bath tub [gambar 2.55a]

Dengan katup model ini bentuk ruang bakar menjadi terpusat, pada kondisi piston melakukan dorongan pada langkah kompresi, campuran bahan bakar udara akan menuju ruangan ini sehingga proses pembakaran lebih cepat. Ruang bakar membentukan balok.



Gambar 2.55 Model ruang bakar

5.5 Piston atau Torak

Torak adalah komponen mesin yang paling pertama menerima energi dari pembakaran. Energi tersebut kemudian diteruskan denagn batang torak. Sambungan antara torak dengan batang torak digunakan pen torak. Posisi sambungan antara torak dengan batang torak dengan pen torak diusahakan tidak pada satu garis dengan posisi poros engkol *(offset engine)*, kalau kondisi ini tidak dicermati mengakibatkan gaya dorong dari pergerakan torak akan besar di dinding dan dapat meyebabkan dinding aus sebagian.

Untuk mencegah kebocoran ruang silinder yang bertekanan tinggi, pada torak dipasang ring torak. Ring torak berfungsi sebagai perapat dan tempat saluran pelumas, untuk melumasi dinding silinder.

Piston bekerja pada beban tinggi yaitu temperatur dan tekanan tinggi, dengan alasan tersebut piston akan mengalami pemuaian sehingga dapat bersinggungan dengan dinding silinder. Kondisi tersebut sangat merugikan karena dinding silinder akan cepat aus. Untuk mengatasi kondisi tersebu,t antara dinding dengan piston diberi jarak atau celah sehingga pada waktu piston mengalami pemuaian masih ada tempat, kontak langsung dengan dinding silinder dapt dihindari.

Konstruksi torak

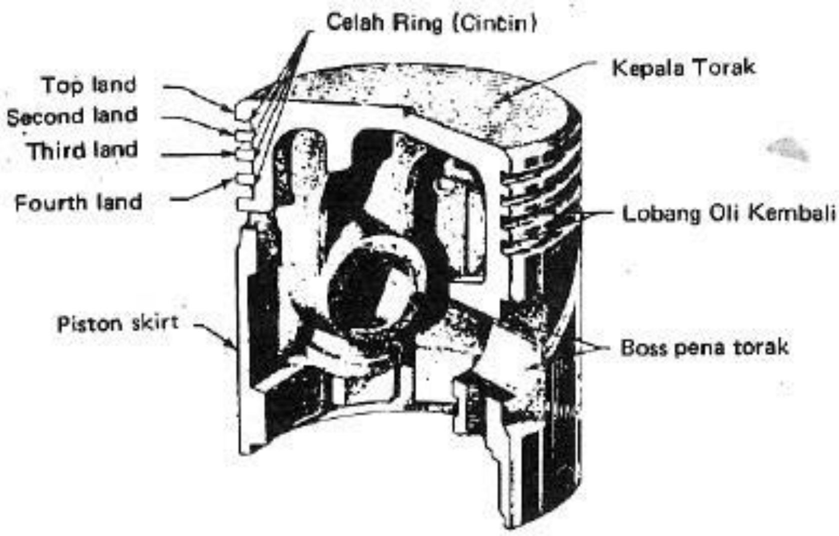
Bagian paling atas adalah kepala torak, biasanya permukaannya datar, tetapi ada pula yang berbentuk cekungan atau cembungan. Bentuk-bentuk permukaan dari

kepala torak difungsikan untuk membantu turbulensi pada waktu kompresi, sehingga campuran udara bahan bakar lebih homogen.

Pada bagian atas torak juga terdapat celah-celah untuk pemasangan ring torak dan bentuk bos di bagian tengah torak yang fungsinya untuk dudukan pen torak.

Dengan alasan torak bekerja pada daerah bertemperatur, bertekanan, dan kecepatan tinggi, material torak harus mempunyai kekuatan yang tinggi. Besi cor banyak digunakan tetapi berat, untuk menggantinya digunakan paduan aluminium yang lebih ringan dan konduktivitas panasnya lebih baik.

Kelemahan dari paduan aluminium adalah mudah memuai, sehingga pada suhu tinggi ukuran piston mejadi lebih besar, hal ini sangat tidak menguntungkan. Untuk mengatasinya bentuk piston dibuat tidak sama, pada bagian bawah dibuat lebih kecil, sehingga pada waktu memuai bentuknya sama.



Gambar 2.56 Konstruksi torak

Model torak

Berbagai model torak dikembangkan untuk menaikkan unjuk kerja dari torak. Material torak yang digunakan harus ringan, mampu beroperasi pada beban tinggi dan konduktivitasnya harus baik. Adapun contoh model-model torak yang banyak digunakan sebagai berikut.

[1] Model split piston [gambar 2.480a]

Torak model ini dilengkapi dengan parit-parit bentuk T dan U untuk menampung ekspansi panas dan membentuk celah sisi.

[2] Torak model selop[gambar 2.480b]

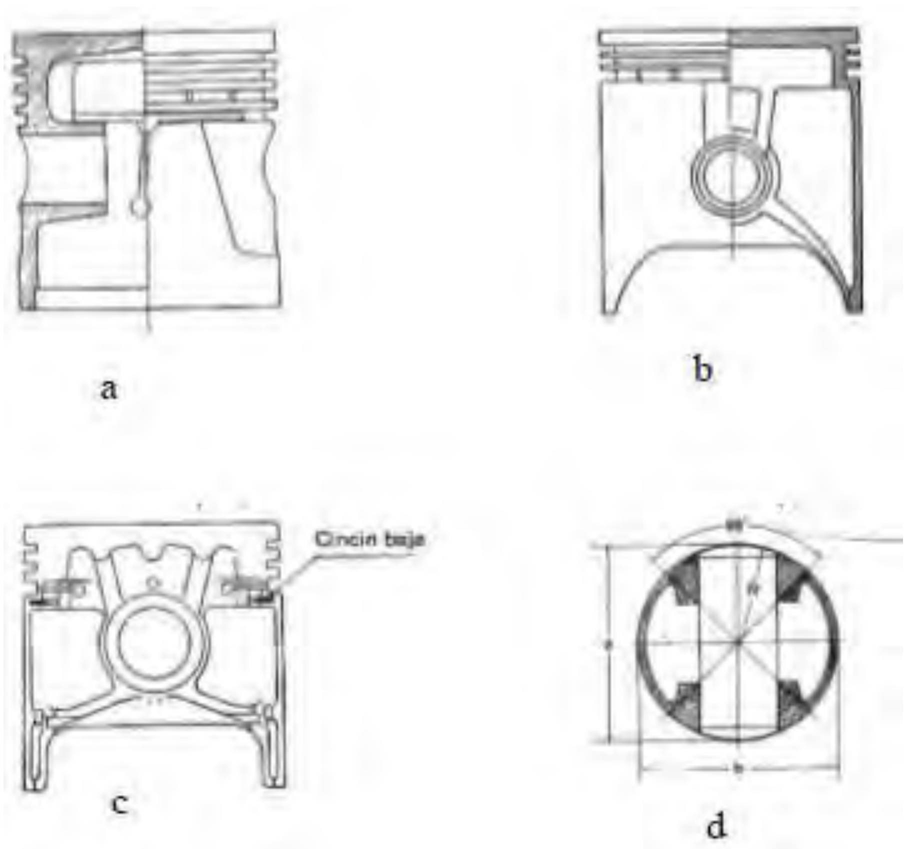
Torak model ini dipotong bagian bawahnya untuk mengurangi berat dan mengurangi gesekan.

[3]Torak model autotermis[gambar 2.480c]

Pada bagian atas dibagian dalam piston terdapat plat baja yang mempunyai pemuaian yang rendah, hal ini untuk mengatasi perubahan bentuk yang disebakan panas.

[4]Torak lonjong (oval piston) [gambar 2.480d]

Diameter torak pada bagian bos pena torak dibuat lebih kecil sehingga piston kelihatan berbentuk oval. Dengan bentuk oval, apabila torak kena panas diameternya akan sama pada setiap sisinya.



Gambar 2.57 Model torak atau piston

Ring torak

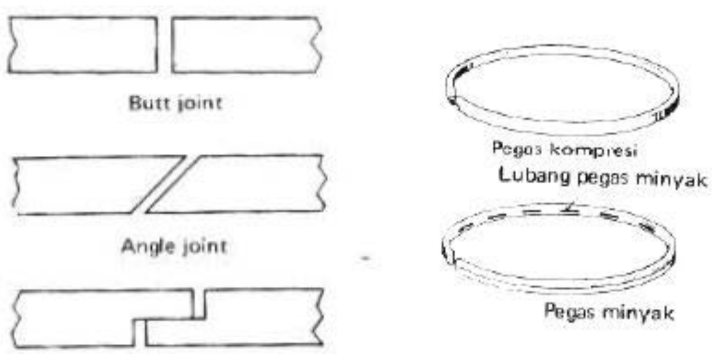
Pada penjelasan terdahulu telah disinggung bahwa antara piston dan dinding piston terdapat celah *(clearence)* yang berfungsi sebagai ruang muai piston. Celah ini dapat menimbulkan masalah yaitu kebocoran gas pada waktu langkah kompresi dan tenaga. Untuk mengatasi hal tersebut pada piston diberi seal atau perapat sehingga kebocoran dapat dihindari. Perapat tersebut berbentuk ring. Adapun fungsi ring piston secara umum adalah sebagai berikut.

[1] Menjaga agar gas tidak ke luar silinder selama langkah kompresi atau langkah tenaga. Pada langkah ini perbedaan antara tekanan dalam silinder dengan luar silinder sangat besar sehingga ada kemungkinan gas dapat ke luar melalui celah-celah antara piston dengan silinder.

[2] Sebagai komponen pelumasan yaitu ring piston akan mengikis minyak pelumas di dinding silinder dan sekaligus mencegah minyak pelumas masuk ke ruang bakar.

[3] Karena ring piston bersingungan langsung dengan dinding silinder, maka ring piston dapat sebagai media untuk menyalurkan panas dari piston kedinding silinder.

Material ring piston terbuat dari besi cor khusus, berbentuk lingkaran berdiameter lebih besar dari diameter piston. Untuk memudahkan pemasangan pada piston, ring piston dipotong. Ada beberapa model potongan yaitu ; [1] *butt joint,* [2] *angle joint,* dan [3] *gap joint* [gambar 2.481]. Celah sambungan (gap joint) harus disesaikan dengan sepesifikasi mesin. Bila celah sambungan terlalu besar akan mengakibatkan kebocoran gas, bila terlalu kecil ujung-ujungnya akan bersentuhan, dan apabila memuai akan merusak ring piston.



Gambar 2.58 Ring piston

Model ring pegas ada dua yaitu:

[1] Ring kompresi, fungsi ring ini adalah mencegah gas kelua pada waktu langkah kompreasi dan ekspansi. Ring kompresi dipasang berurutan pada posisi atas piston. Potongan ring diposisikan antara satu dengan yang lainnya pada posisi 1200, atau 1800, dengan maksud untuk untuk mencegah kebocoran.

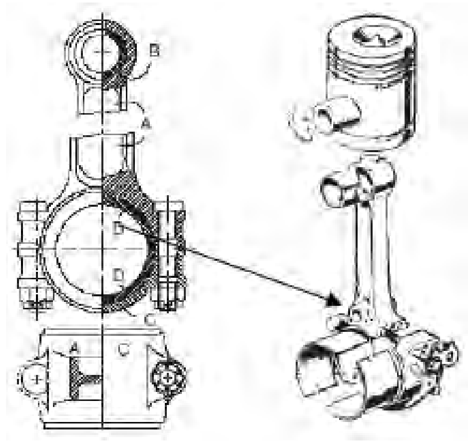
[2] Ring oli, fungsi ring ini adalah untuk mengikis kelebihan oli pada dinding silinder dan untuk mecegah agar minyak pelumas tidak memasuki ruang bakar.

5.6 Batang torak

Batang torak atau batang penerus (*conecting rod*) adalah komponen yang meneruskan tenaga dari torak ke poros engkol. Dengan batang torak ini gerakan torak yaitu translasi bolak-balik diubah menjadi gerakan rotasi pada poros engkol. Bentuk dari batang torak dapat dilihat pada Gambar 2.482. Bagian ujung yang disambung dengan pen pada torak berbentuk lebih kecil dan ujung satunya yang terhubung langsung dengan poros engkol berbentuk lebih besar. Pada bagian ujung yang besar dibuat dalam bentuk split dan dipasang pada pin engkol dengan baut-baut yang dibuat dari logam khusus.

Sama dengan torak, batang torak juga bekerja pada beban tinggi secara berulang-ulang. Temperatur pada batang torak juga masih tinggi karena bersinggungan langsung dengan torak. Dengan alasan tersebut batang torak dibuat dengan baja khusus.

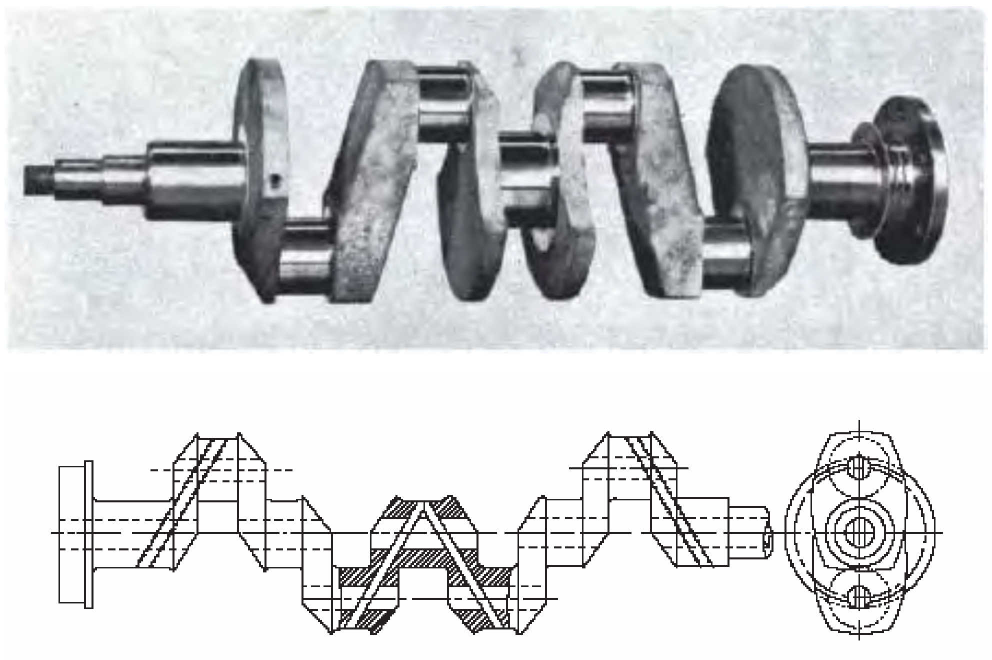
Pada ujung kecil sampai ujung besar dari batang torak diberi lubang pelumas untuk melumasi bagian batang torak mulai dari pen torak sampai pada pin engkol. Pada ujung kecil sistem pelumasanya dengan percikan. Pada bagian ujung besar dipasang bantalan untuk mencegah keausan.



Gambar 2.59 Konstruksi dari batang penghubung

5.7 Poros engkol

Fungsinya sama dengan batang torak yaitu meneruskan tenaga dari torak. Bedanya batang torak melakukan gerakan gabungan translasi dan rotasi, poros engkol hanya bergerak rotasi saja. Adapun konstruksi dari poros engkol dapat dilihat pada gambar. Salah satu bagian dari poros engkol adalah *crank journal* yang ditumpu pada *crankcase* dengan bantalan dan merupakan pusat tumpuan dan putaran. *Crank pin* adalah komponen dari poros engkol dimana batang torak dipasang. Antara *crank journal* denga *crank pin* dihubungkan dengan *crank arm*.



Gambar 2.60 Poros engkol

Pada bagian ujung dari poros engkol dibuat alur untuk pemasangan roda gigi timing untuk menggerakan sumbu nok *(chamsaft)* dan puli untuk menggerakkan pompa dan generator. Bagian ujung satunya dipasang roda gaya atau roda penerus. Pada mesin segaris jumlah crank pin sama dengan jumlah silinder dan untuk bentuk V jumlahnya adalah setengahnya. Jumlah *crank journal* bertambah banyak pada mesin putaran tinggi atau beban tinggi.

Putaran poros engkol bervariasi dari putaran rendah sampai putaran tinggi. Beban yang ditanggung oleh poros engkol tidak hanya dari putaran, tetapi juga dari dorong aksial batang penerus, akibatnya poros engkol akan bergetar dan cenderung tidak stabil, bantalan akan cepat aus. Pada mesin multi silinder kondisi ini diatasi dengan mengatur posisi *crank pin* tidak pada satu garis dengan crank juornal, tetapi membentuk sudut tertentu. Disamping itu, pada poros engkol juga dipasang massa penyeimbang *(balance weight)* untuk meyerap energi yang berlebih.

Untuk megurangi getaran dan pembebanan yang tidak merata, urutan pembakaran juga harus diatur sehingga mempunyai waktu yang sama setiap dua putaran poros engkol. Dengan pengaturan tersebut, langkah tenaga menjadi teratur dan dorongan batang torak ke poros engkol bergantian dengan teratur.

5.8 Roda gaya

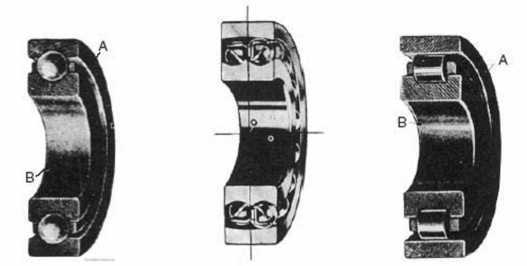
Pada mesin 4 tak, dalam satu siklus kerja dengan dua putaran poros engkol hanya ada satu langkah tenaga. Ini berarti poros engkol mendapatkan tenaga putar dari langkah tenaga saja, untuk langkah lainnya memerlukan tenaga. Agar dapat bekerja untuk langkah lainnya, poros engkol harus dapat menyimpan energi dari langkah tenaga. Bagian komponen mesin yang berfungsi menyimpan energi atau tenaga putar ini disebut roda gaya atau roda penerus *(fly wheel).*

Roda penerus dipasang pada ujung poros engkol dan dilengkapi dengan *ring gear* yang akan dihubungkan dengan gigi pinion starter. Roda penerus berbentuk piringan dan terbuat dari material besi cor.

5.9 Bantalan

Untuk mecegah keausan karena gesekan-gesekan pada setiap tumpuan-tumpuan dipasang bantalan (*bearing*). Pada poros engkol bantalan dipasang pada *crank journal* dan *crank pin*. Untuk membantu mengurangi gesekan dan sekaligus mendinginkan bantalan-bantalan, minyak pelumas dialirkan melalui celah-celah minyak pelumas.

Bantalan-bantalan yang digunakan pada jurnal poros engkol disebut dengan bearing utama dan yang digunakan pada bagian ujung besar batang torak disebut bantalan batang torak. Bentuk dari bantalan adalah split yang dipakai pada jurnal poros engkol dan bentuk split tunggal pada bantalan pena torak yaitu *bushing*.



Gambar 2.61 Bantalan

5.10 Mekanik Katup

Katup merupakan komponen mesin yang berfungsi sebagai laluan udara dan bahan bakar masuk silinder (katup masuk) atau sebagai laluan gas sisa pembakaran ke luar silinder (katup ke luar]. Untuk mengatur membuka dan menutupnya katup diperlukan mekanisme katup. Ada beberapa mekanisme katup yaitu:

[1] Susunan katup sisi *(Side valve)*

Susunan katup sisi konstruksinya sangat sederhana, mekanik katupnya tidak rumit dan dipasang di sisi silinder. Komponennya terdiri dari katup sendiri, pegas katup, pengangkat katup *(valve lifter),* nok dan poros nok. Pergerakan katup membuka dan menutup dilakukan oleh nok pada poros nok yang diterukan oleh pengangkat katup. Poros nok ditempatkan paralel disamping poros engkol. Karena letaknya di bagian sisi silinder dan tidak dikepala silinder, menjadikan konstruksi silinder menjadi sangat sederhana.

[2] Susunan katup kepala *(Overhed valve)*

Mekanik katup terdiri dari katup, *push rod, valve lifter,rocker arm.* Posisi katup di kepala silinder baik katup hisap atau katup buang. Cara kerja mekanik katup

adalah sebagai berikut. Apabila pengangkat katup didorong nok, *push rod* terdorong keatas, *push rod* akan mendorong salah satu ujung dari *rocker arm* dan ujung *rocker arm* yang lainnya akan menekan katup ke bawah dan katup mulai terbuka. Nok kemudian berputar, dorongan *push rod* menjadi hilang, *rocker arm* menjadi bebas, demikian juga katup menutup kembali karena gaya pegas. Seperti yang telah disebutkan bahwa katup terletak pada kepala silinder, posisi ini membentuk ruang bakar yang lebih longgar dengan katup yang dapat diperluas untuk memaksimalkan pengisian.

[3] Susunan katup kepala dengan poros nok di atas kepala silinder

Mekanik katup terdiri dari komponen yang sama dengan jenis yang kedua, perbedaannya terletak pada poros noknya terletak pada kepala silinder *(over head camshaft).* Pengembangan mekanik katup jenis ini adalah untuk menaikkan performasi katup dalam merespon kondisi mesin putaran tinggi. Pada mekanik katup jenis kedua dimana poros nok terletak pada sisi silinder bagian bawah, dalam merespon untuk pembukaan jalannya terlalu panjang, melewati beberapa komponen yaitu *lifter, push rod* kemudian *rocker arm* baru menekan katup. Apabila cara kerja disederhanakan yaitu menghilangkan *push rod* dan *lifter*, dengan memasang poros nok di atas kepala silinder, kemudian dilengkapi dengan penumbuk katup *(valve rocker arm),* katup akan lebih cepat merespon pergerakan nok untuk pembukaan dan penutupan.

c. Rangkuman

1. Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakarannya terjadi dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerjanya
2. Keuntungan dari mesin pembakaran dalam dibandingkan dengan mesin pembakaran luar adalah kontruksinya lebih sederhana, tidak memerlukan fluida kerja yang banyak dan efesiensi totalnya lebih tinggi
3. Siklus udara pada motor bakar yang akan dibahas adalah
    a. Siklus udara pada volume konstan (Siklus Otto)
    b. Siklus udara pada tekanan kostan (Siklus Disel)
    c. Siklus udara tekanan terbatas.(Siklus gabungan)
4. Siklus tekanan kostan pemasukan kalornya pada tekanan kostan berbeda dengan siklus volume konstan yang proses pemasukan kalornya pada kondisi volume konstan. Siklus tekanan konstan sering disebut dengan siklus diesel
5. Siklus gabungan, proses pemasukan kalornya menggunakan dua cara yaitu pemasukan kalor volume konstan dan tekanan konstan.
6. Kerja yang berguna adalah pengurangan dari jumlah energi yang masuk dengan energi yang terbuang. Perbandingan antara kerja
7. berguna dengan jumlah energi yang masuk ke mesin adalah definisi dari efisiensi

$$\eta = \frac{W}{Q_m} = \frac{\text{kerja berguna}}{\text{kalor masuk}}$$

8. Efisiensi siklus otto akan naik apabila kita menaikan rasio kompresinya. Kenaikan rasio kompresi mesin otto dibatasi oleh peritiwa knoking, yaitu suara berisik karena terjadi ledakan dari pembakaran spontan dari mesin otto. Karena knoking daya menjadi turun sehingga efisiensi pun menurun. atau diesel semakin naik.
9. Kenaikan rasio kompresi berarti tekanan kompresi juga tinggi sehingga material yang dibutuhkan harus lebih kuat. Pada rasio kompresi yang sama efisiensi

mesin otto lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel, akan tetapi mesin otto tidak bekerja pada rasio kompresi disel karena terlalu tinggi

d. Tugas

Soal

1. Jelaskan perbedaan proses kerja dari motor bakar 2 Tak dengan 4 Tak . . .?
2. Jelaskan siklus termodinamika motor bakar . . . ?
3. Jelaskan komponen-komponen utama mesin motor bakar . . . ?
4. Jelaskan tentang efisiensi motor bakar dan bagaimana perumusannya !
5. Sebutkan faktor faktor yang bisa menambah dan mengurangi efisiensi motor bakar ?
6. Apa yang dimaksud dengan knoking pada mesin otto
7. Menurut anda lebih efisien mana antara mesin otto dan mesin disel

3. Kegiatan Pembelajaran 3 : Prestasi Mesin

a. Tujuan Pembelajaran

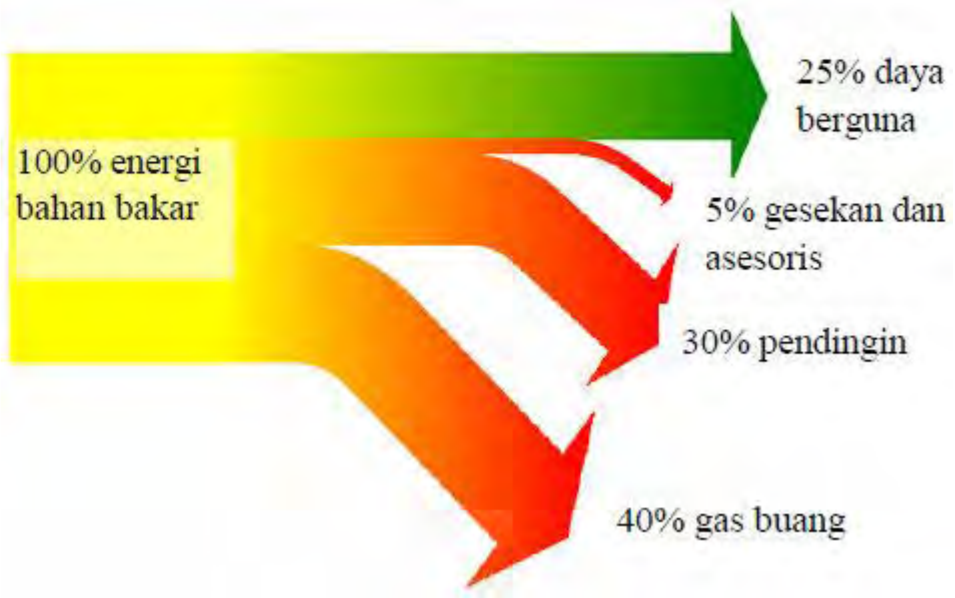
Setelah mempelajari materi pada bahan ajar ini , siswa memiliki kompetensi :

1) Menjelaskan properties/ komponen yang berhubungan dengan pretasi mesin/ engine dengan benar
2) Menjelaskan volume langkah dan volume ruang bakar dengan benar
3) Menjelaskan Torsi dan Daya Mesin dengan benar
4) Menghitung Daya Mesin dengan benar
5) Menjelaskan macam-macam efisiensi mesin dengan benar

b. Uraian Materi

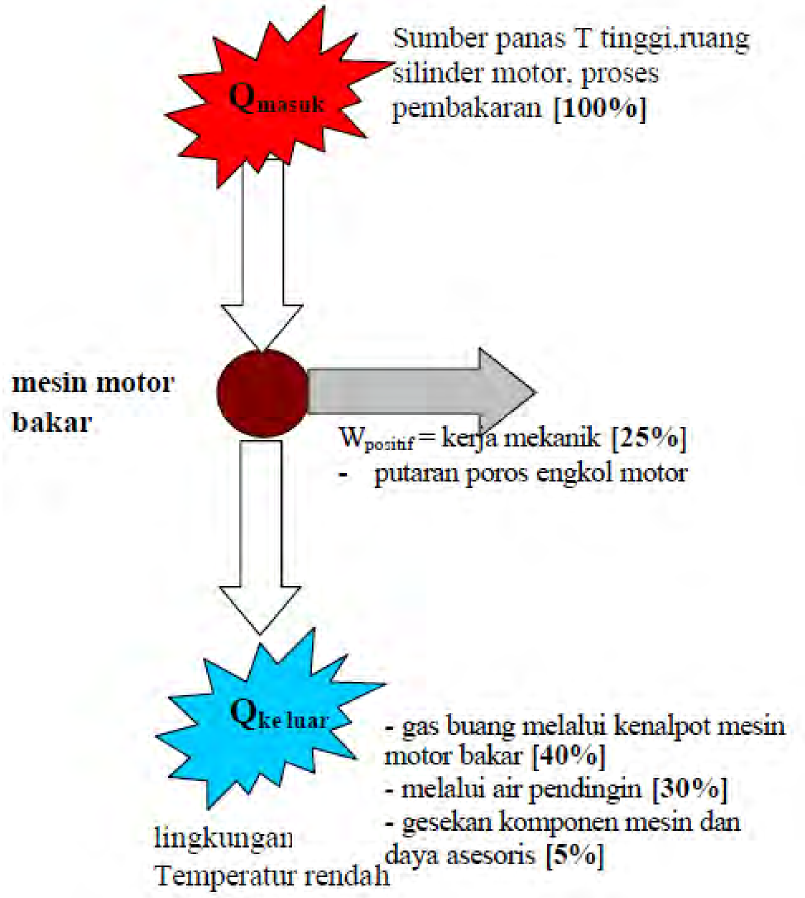
Motor bakar adalah suatu mesin yang mengkonversi energi dari energi kimia yang terkandung pada bahan bakar menjadi energi mekanik pada poros motor bakar. Jadi daya yang berguna yang langsung dimanfaatkan sebagai penggerak adalah daya pada poros. Proses perubahan energi dari mulai proses pembakaran sampai menghasilkan daya pada poros motor bakar melewati beberapa tahapan dan tidak mungkin perubahan energinya 100%. Selalu ada kerugian yang dihasilkan selama proses perubahan, hal ini sesuai dengan hukum termodinamika kedua yaitu "tidak mungkin membuat sebuah mesin yang mengubah semua panas atau energi yang masuk memjadi kerja". Jadi selalu ada "keterbatasan" dan "keefektifitasan" dalam proses perubahan, ukuran inilah yang dinamakan efisiensi.

Kemampuan mesin motor bakar untuk mengubah energi yang masuk yaitu bahan bakar sehingga menghasilkan daya berguna disebut kemampuan mesin atau prestasi mesin. Gambar 2.62 menggambarkan proses perubahan energi bahan bakar.



Gambar 2.62 Keseimbangan energi pada motor bakar

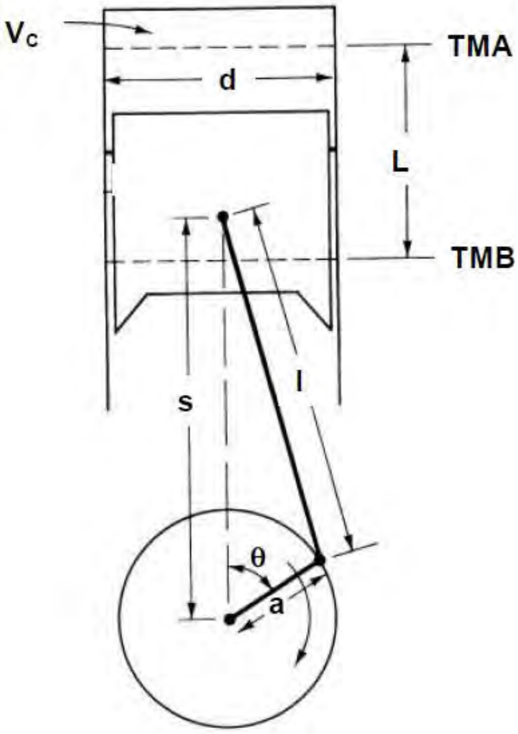
Berdasarkan gambar 2.63 terlihat jelas bahwa tidak mungkin mengubah semua energi bahan bakar menjadi daya berguna. Daya berguna hanya sebesar 25%, yang artinya mesin hanya mampu menghasilkan 25% daya berguna yang dapat dipakai sebagai penggerak dari 100% bahan bakar. Energi yang lainnya dipakai untuk menggerakkan asesoris atau peralatan bantu, kerugian gesekan dan sebagian terbuang ke lingkungan sebagai panas gas buang dan melalui air pendingin. Jika digambar dengan hukum termodinamika dua adalah sebagai berikut :



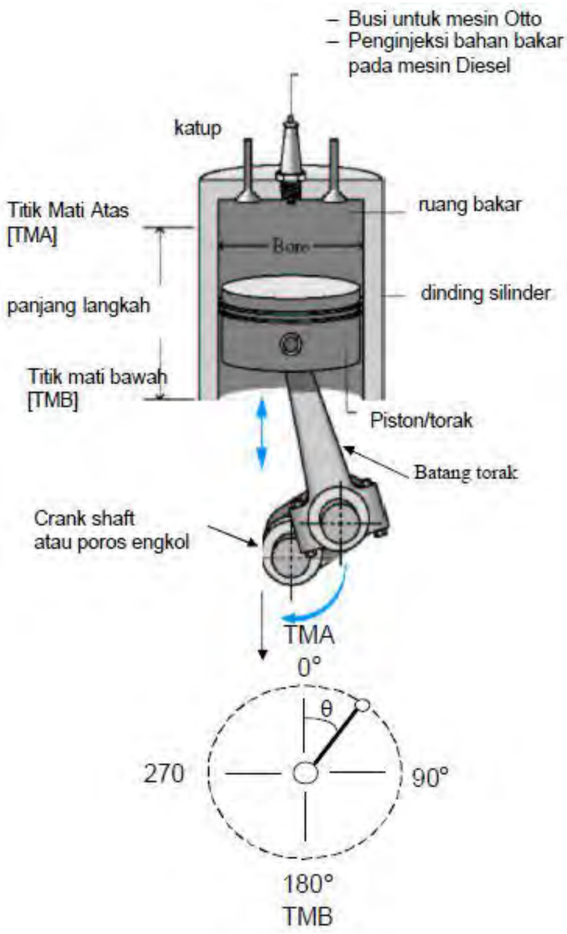
Gambar 2.63 Diagram proses konversi energi pada motor bakar

1. Propertis Geometri Silinder

Bahan bakar dibakar di dalam silinder untuk menghasilkan energi. Jadi silinder adalah komponen utama sebagai tempat proses pembakaran.



Gambar 2.64 Propertis geometri silinder motor bakar



Gambar 2.65 Geometri silinder

Gambar 2.64 dan 2.65 di atas adalah propertis dari geometri silinder motor bakar. Adapun definisi dari masing-masing propertis atau komponen adalah:

[1] Silinder, adalah bagian yang memindahkan panas ke tenaga mekanik dengan menggunakan **piston** atau **torak** yang bergerak bolak balik di dalam silinder. Gerakan piston akan bersinggungan dengan **dinding silinder.**

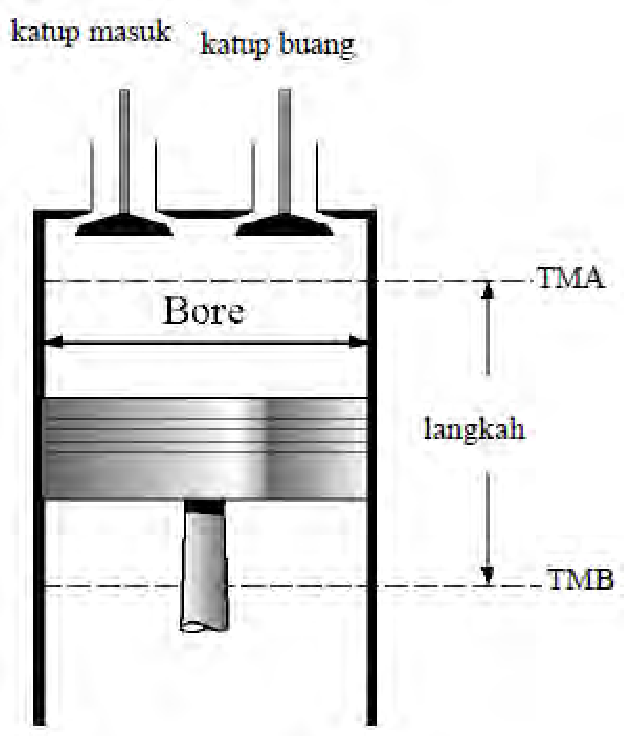
[2] Kepala silinder, terdiri dari **ruang bakar (Vc)**, lubang-lubang untuk **busi atau nosel injeksi dan makanik katup** (hisap dan buang)

[3] Diameter silinder (d), adalah ukuran melebar dari silinder.

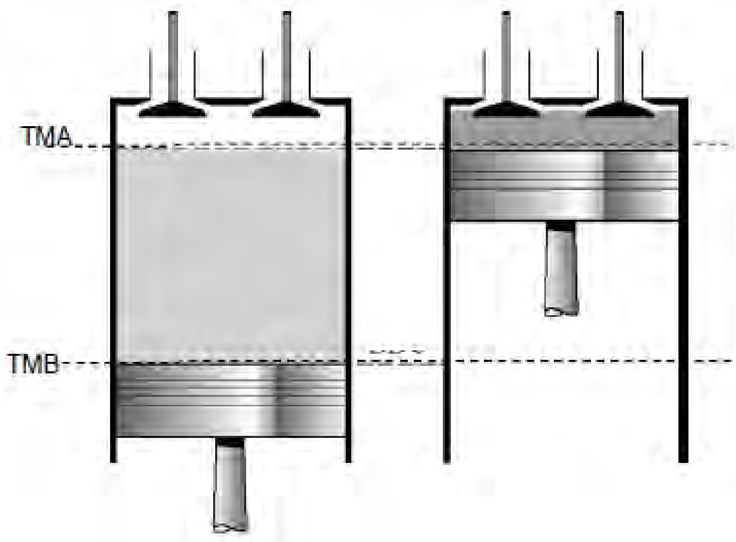
[4] Panjang langkah (L), adalah jarak terjauh piston bergerak di dalam silinder, atau jarak gerakan piston dari **Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA)**

[5] Poros engkol dan batang torak, adalah komponen pengubah gerak bolak balik piston menjadi gerak putar atau rotasi

[6] Sudut engkol *q* adalah sudut perputaran poros engkol pada langkah tertentu, satu putaran penuh adalah 3600.



Gambar 2.66 Langkah mesin



Gambar 2.67 Volume langkah dan volume ruang bakar

2. Volume langkah dan volume ruang bakar

Volume langkah adalah volume ketika torak bergerak dari TMA ke TMB, disebut juga volume *displacement* dari mesin. Volume mesin satu silinder dihitung dengan rumus:

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} L$$

Volume langkah dengan jumlah silinder N adalah:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} x L x N$$

Volume ruang bakar atau *clearance* volume adalah *Vc*

3. Perbandingan kompresi (*compression ratio*)

Perbandingan kompresi (*r*) adalah menunjukkan seberapa banyak campuran bahan bakar dan udara yang masuk silinder pada langkah hisap, dan yang dimampatkan pada langkah kompresi. Perbandingannya adalah antara volume langkah dan ruang bakar *(Vd +Vc)* yaitu pada posisi piston di TMB, dengan volume ruang bakar *(Vc)* yaitu pada posisi piston di TMA, dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$r = \frac{\text{volume silinder pada posisi piston di TMB}}{\text{volume silinder pada posisi piston di TMA}}$$

$$r = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

Dari rumus efisiensi termal dapat dilihat bahwa dengan menaikkan rasio kompresi akan menaikkan efisiensi, dengan kata lain tekanan pembakaran bertambah dan mesin akan menghasilkan daya berguna yang lebih besar. Akan tetapi, kenaikan tekanan pembakaran di dalam silinder dibarengi dengan kenaikan temperatur pembakaran dan ini menyebabkan pembakaran awal, peristiwa tersebut dengan *knocking* dan meyebabkan daya mesin turun.

Pada mesin diesel rasio kompresi lebih tinggi dibanding dengan mesin bensin. Rasio kompresi semakin tinggi pada mesin diesel dibarengi dengan kenaikan efisiensi. Kenaikan rasio kompresi akan menaikkan tekanan pembakaran, kondisi ini akan memerlukan material yang kuat sehingga dapat menahan tekanan dengan temperatur tinggi. Material yang mempuyai kualitas tinggi harus dibuat dengan teknologi tinggi dan harganya mahal, sehingga secara keseluruhan menjadi tidak efektif.

4. Kecepatan piston rata-rata

Piston atau torak bergerak bolak balik (*reciprocating*) di dalam silinder dari TMA ke TMB dan dari TMB ke TMA. Kecepatan pergerakan piston dapat dihitung dengan mengambil harga rata ratanya yaitu:

$$U_p = 2xLxn$$

dengan U_p = adalah kecepatan piston rata-rata (m/s)
n = putaran mesin rotasi per waktu (rpm)
L = panjang langkah atau stroke

5. Torsi dan Daya Mesin

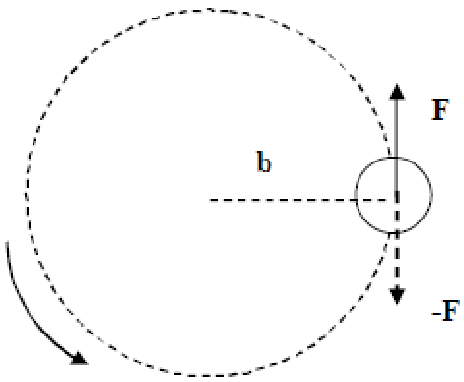
Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Adapun perumusan dari torsi adalah sebagai berikut. Apabila suatu benda

berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar F, benda berputar pada porosnya dengan jarijari sebesar b, maka torsinya adalah:

$T = Fxb$ (N.m)

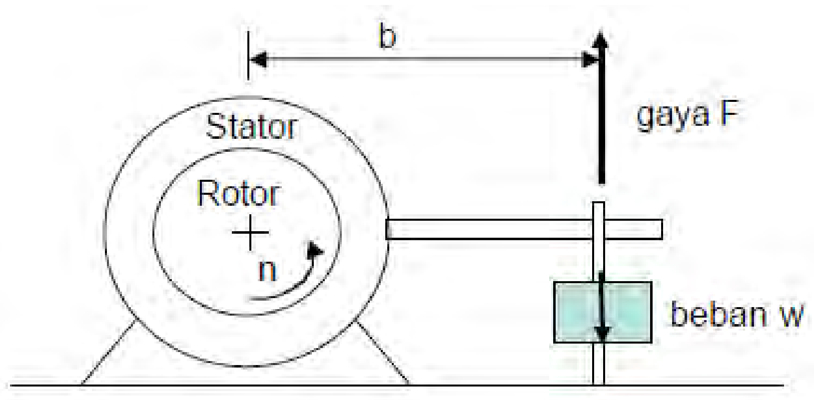
dengan T = Torsi benda berputar (N.m)
F = gaya sentrifugal dari benda yang berputar (N)
b = jarak benda ke pusat rotasi (m)

Karena adanya torsi inilah yang menyebabkan benda berputar terhadap porosnya, dan benda akan berhenti apabila ada usaha melawan torsi dengan besar sama dengan arah yang berlawanan.



Gambar 2.68 Skema pengukuran torsi

Pada motor bakar untuk mengetahui daya poros harus diketahui dulu torsinya. Pengukuran torsi pada poros motor bakar menggunakan alat yang dinamakan Dinamometer. Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan memberi beban yang berlawanan terhadap arah putaran sampai putaran mendekati o rpm. Beban ini nilainya sama dengan torsi poros. Gambar 2.68 menunjukkan prinsip dasar dari dinamometer.



Gambar 2.69 Skema dinamometer

Dari gambar di atas dapat dilihat pengukuran torsi pada poros (rotor) dengan prisip pengereman dengan stator yang dikenai beban sebesar w. Mesin dinyalakan kemudian pada poros disambungkan dengan dinamometer. Untuk megukur torsi mesin pada poros mesin diberi rem yang disambungkan dengan *w* pengereman atau pembebanan. Pembebanan diteruskan sampai poros mesin hampir berhenti berputar. Beban maksimum yang terbaca adalah gaya pengereman yang besarnya sama dengan gaya putar poros mesin *F*. Dari definisi disebutkan bahwa perkalian antara gaya dengan jaraknnya adalah sebuah torsi, dengan difinisi tersebut Torsi pada poros dapat diketahui dengan rumus:

$$T = wxb \text{ (Nm)}$$

dengan T = torsi mesin (Nm)
w = beban (kg)
b = jarak pembebanan dengan pusat putaran

Pada mesin sebenarnya, pembebanan terjadi pada komponenkomponen mesin sendiri yaitu asesoris mesin (pompa air, pompa pelumas, kipas radiator), generator listrik (pengisian aki, listrik penerangan, penyalan busi), gesekan mesin dan komponen lainnya.

Dari perhitungan torsi di atas dapat diketahui jumlah energi yang dihasikan mesin pada poros. Jumlah energi yang dihasikan mesin setiap waktunya disebut dengan daya mesin. Kalau energi yang diukur pada poros mesin dayanya disebut daya poros.

6. Perhitungan Daya Mesin

Pada motor bakar, daya dihasilkan dari proses pembakaran di dalam silinder dan biasanya disebut dengan daya indikator. Daya tersebut dikenakan pada torak yang bekerja bolak-balik di dalam silinder mesin. Jadi di dalam silinder mesin, terjadi perubahan energi dari energi kimia bahan bakar dengan proses pembakaran menjadi energi mekanik pada torak.

Daya indikator merupakan sumber tenaga per satuan waktu operasi mesin untuk mengatasi semua beban mesin. Mesin selama bekerja mempunyai komponen-komponen yang saling berkaitan satu dengan lainnya membentuk kesatuan yang kompak. Komponen-komponen mesin juga merupakan beban yang harus diatasi daya indikator. Sebagai contoh pompa air untuk sistem pendingin, pompa

pelumas untuk sistem pelumasan, kipas radiator, dan lain lain, komponen ini biasa disebut asesoris mesin. Asesoris ini dianggap parasit bagi mesin karena mengambil daya dari daya indikator.

Disamping komponen-komponen mesin yang menjadi beban, kerugian karena gesekan antar komponen pada mesin juga merupakan parasit bagi mesin, dengan alasan yang sama dengan asesoris mesin yaitu mengambil daya indikator. Seperti pada Gambar 2.62 terlihat bahwa daya untuk meggerakkan asesoris dan untuk mengatasi gesekan sekitar 5% bagian.

Untuk lebih mudah memahami, di bawah ini ditunjukkan perumusan dari masing masing daya. Satuan daya menggunakan HP(horse power).

$$N_e = N_i - (N_g + N_a) \text{ (HP)}$$

dengan N_e = daya efektif atau daya poros (HP)
N_i = daya indikator (HP)
N_g = kerugian daya gesek (HP)
N_a = kerugian daya asesoris (HP)

7. Daya indikator

Seperti telah diuraikan di atas, daya indikator adalah daya yang dihasilkan di dalam silinder pada proses pembakaran. Untuk menghitung daya indikator, perlu ditentukan terlebih dahulu tekanan indikator rata-rata yang dihasilkan dari proses pembakaran satu siklus kerja.

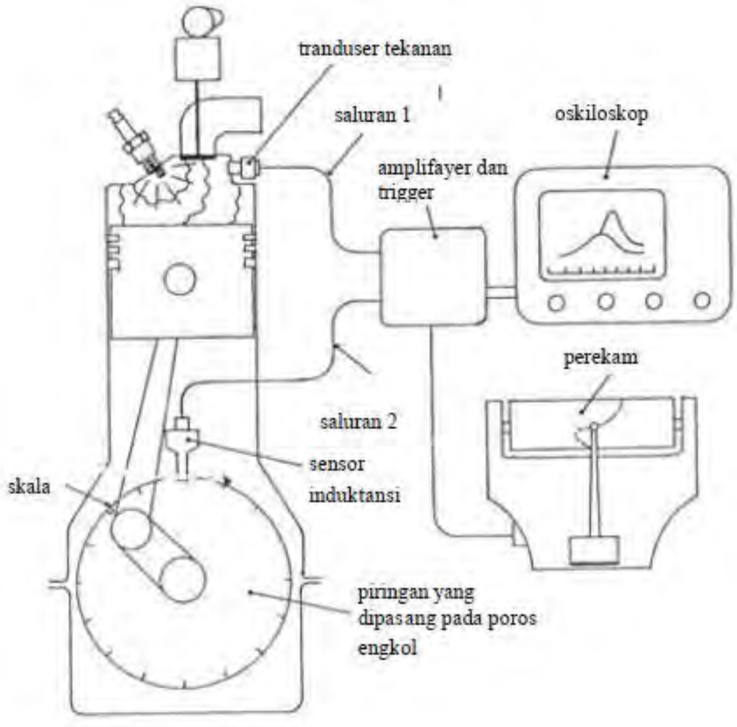
a. Diagram indikator

Cara memperoleh siklus kerja dari suatu mesin adalah dengan menggunakan sebuah motor atau mesin uji yang dipasang seperangkat alat untuk mencatat setiap kondisi kerja mesin pada semua langkah. Dengan mesin uji tersebut dapat dihasilkan diagram indikator satu siklus kerja. Pada gambar berikut adalah mesin uji yang digunakan untuk menggambarkan diagram indikator satu siklus kerja mesin, jenis mekanis dan jenis elektrik. Gambar diagram indikator adalah sebuah grafik hubungan p dan V, jadi setiap tekanan pada kedudukan tertentu dari piston dapat diketahui.

Cara kerja mesin uji adalah sebagai berikut.

[A] Mesin uji elektrik. Mesin uji bekerja dengan sinyal digital. Alat pendeteksi tekanan *(pressure transduser)* dipasang pada ruang silinder, alat pendeteksi

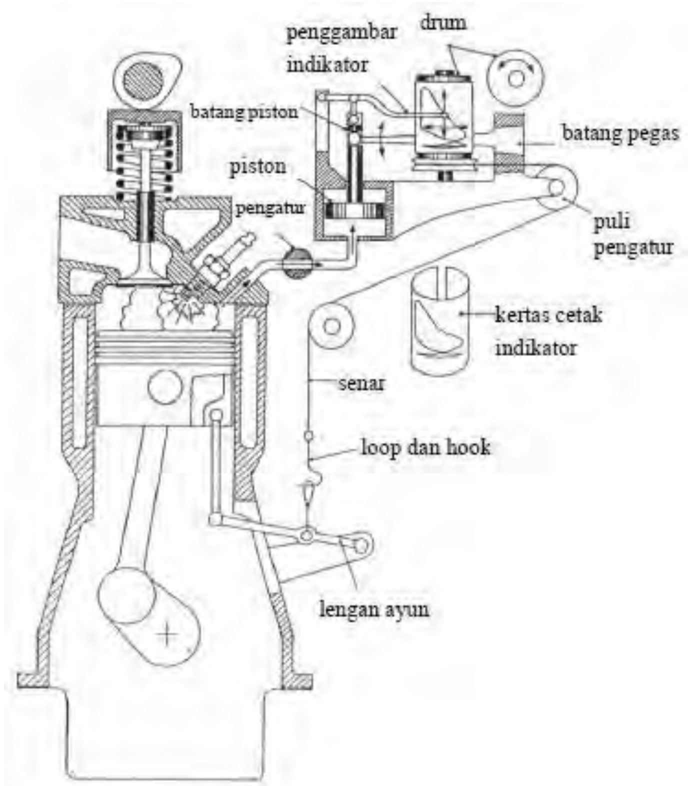
volume *(inductive pick up)* dipasang pada piringan yang terpasang pada bagian bawah silinder terhubung dengan poros engkol. Masing masing alat pendeteksi memberikan respon dari setiap kondisi yang diukur, kemudian respon tersebut diubah dalam bentuk sinyal listrik yang akan diperkuat di unit *amplifier* dan *trigger*. Sinyal-sinyal digital di tampilkan pada layar osiloskop dalam bentuk grafik hubungan sudut poros engkol dan tekanan silinder [Gambar 2.70]



Gambar 2.70 Mesin uji elektrik

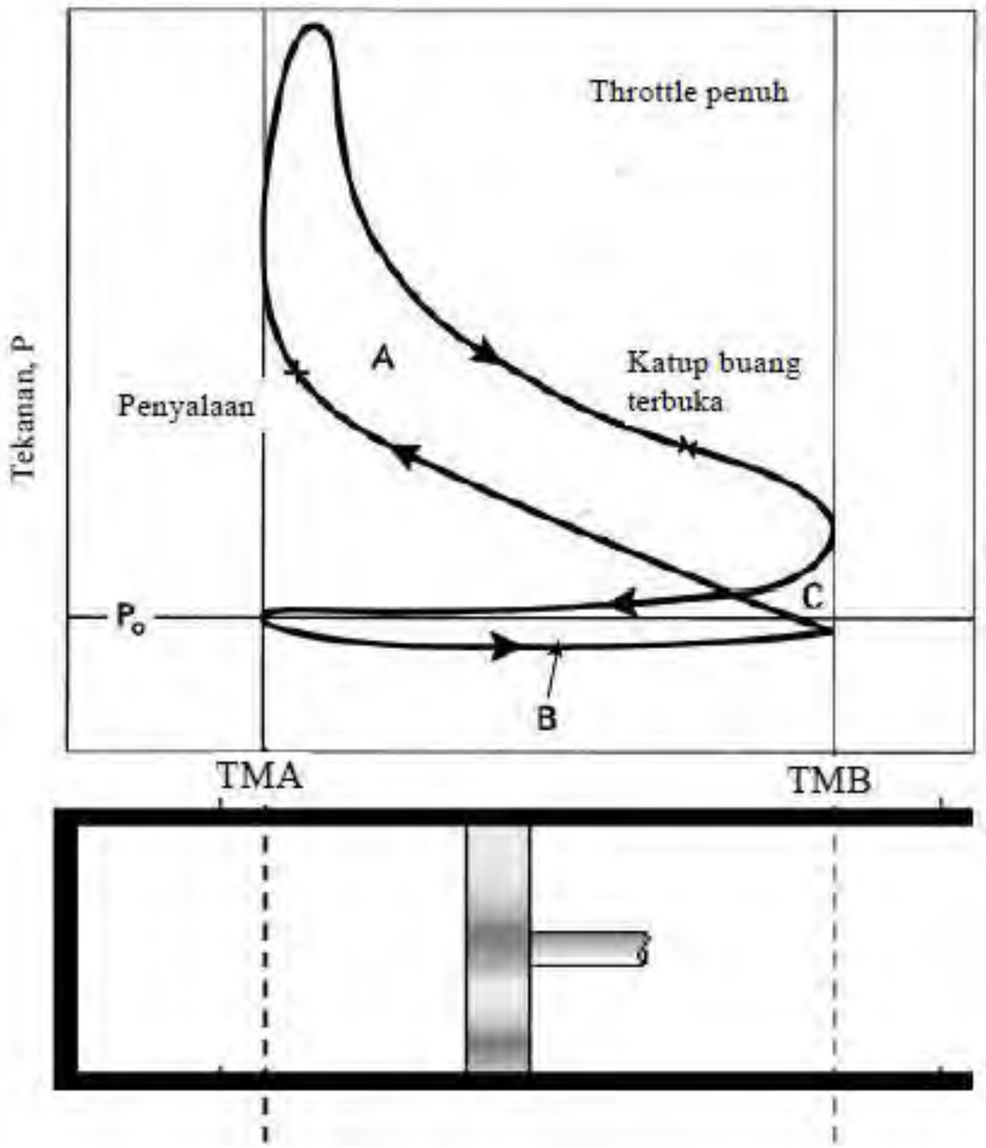
[B] Mesin uji mekanis. Mesin uji mekanis terdiri dari dua perangkat [Gambar 2.620]. Perangkat pertama adalah mesin otto dan yang kedua adalah perangkat mekanisme pencatat. Proses pembakaran pada tekanan dan volume tertentu di dalam silinder mesin otto. Pada silinder dibuat lubang sebagai tempat saluran pipa yang akan mendeteksi perubahan tekanan di dalam silinder selama siklus kerja mesin. Pipa tersebut terhubung dengan silinder pada perangkat kedua yang terdiri dari piston, batang piston dan tuas pencatat atau indikator *scriber*. Pada tuas pencatat ujungnya akan bersinggungan dengan drum kertas. Respon volume setiap kondisi piston dideteksi dengan menggunakan mekanisme tuas yang dipasang pada piston, kemudian disambungkan dengan kabel yang dihubungkan drum kertas. Setiap pergerakan piston akan memutar drum. Jadi pada saat mesin mulai bekerja tekanan di dalam silinder mulai berubah sehingga tuas pencatat

mulai bergerak, karena kedudukan piston juga berubah menyebabkan tuas pada piston juga berubah posisinya, seterusnya drum berputar karena ditarik dengan kabel dari tuas piston.



Gambar 2.71 Mesin uji mekanis

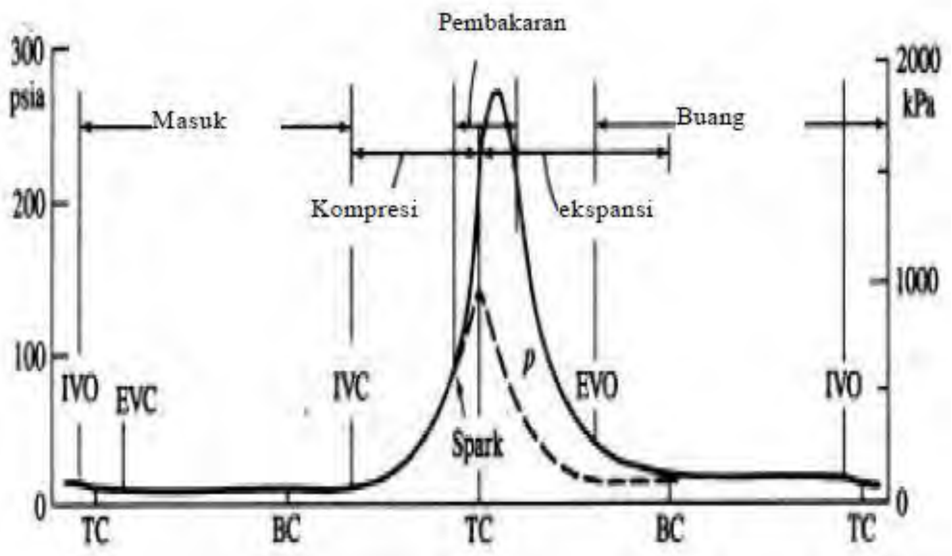
Diagram indikator yang dihasilkan mesin uji mekanis menggambarkan kondisi tekanan pada setiap kedudukan piston di dalam silinder [Gambar 2.621]. Sehingga secara sederhana diagram indikator dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.72 Diagram indikator mesin uji mekanik

Dari diagram indikator di atas terlihat satu siklus kerja dari mesin otto. Siklus ini menggambarkan kondisi aktual dari mesin di dalam silinder. Tekanan hisap dan buang terlihat berbeda, proses pembakaran juga tidak pada volume konstan, pembuangan gas sisa juga tidak pada volume konstan.

Diagram indikator yang dihasilkan mesin uji elektrik menggambarkan kondisi tekanan pada setiap kedudukan piston di dalam silinder. Sehingga secara sederhana diagram indikator dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.73 Diagram indikator mesin uji elektrik

Diagram di atas merupakan hubungan antara tekanan di dalam silinder dengan sudut engkol pada mesin. Dengan menggunakan grafik ini dapat dianalisis setiap langkah kerja mesin, yaitu mulai hisap *(intake)*, kompresi (*compression*), pembakaran (*combustion*), tenaga (*expansion)*, dan buang (*exhaust*). Tekanan pembakaran pada piston yaitu pada sumbu tegak menggambarkan kondisi aktual perubahan tekanan selama mesin bekerja

b. Kerja indikator

Kerja indikator adalah kerja pada piston karena perubahan tekanan dan volume selama siklus kerja mesin. Adapun kerja indikator persiklusnya dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

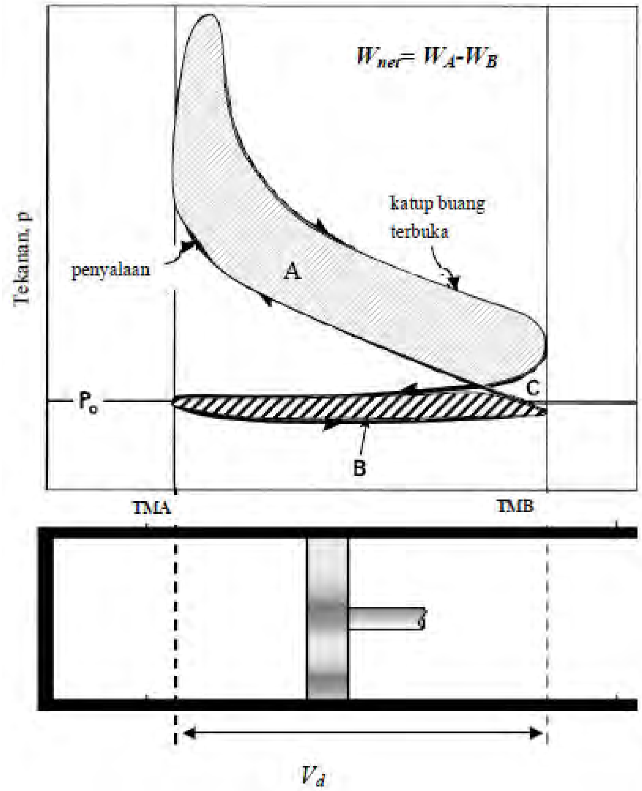
$W_i = \oint pdv$ atau disederhanakan menjadi

$$W_i = px\Delta v$$

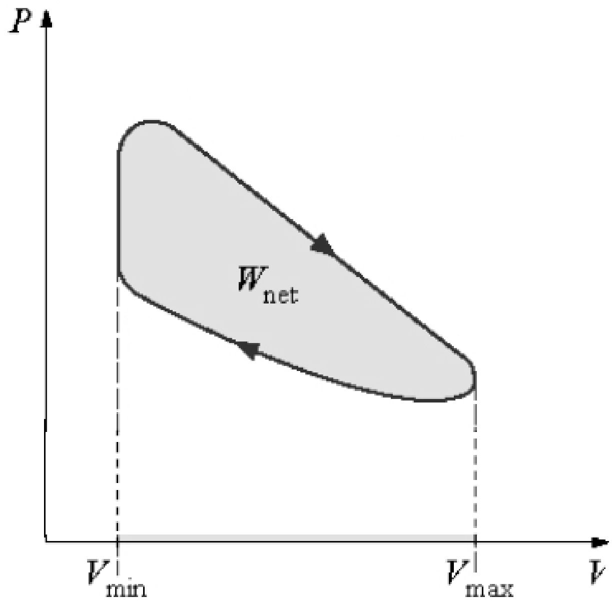
dengan p = tekanan di dalam silinder (atm)
Δv = beda volume karena pergerakan piston

Gambar 2.74adalah digram p-V dari mesin otto. Daerah A adalah kerja indikator positif pada langkah kompresi dan tenaga, sedangkan pada daerah B adalah kerja negatif pemompaan langkah hisap dan buang. Adapun jumlah total dari kedua daerah kerja terebut adalah kerja indikator total, dirumuskan dengan persamaan:

$$W_{idikatortaal} = W_{indikator} - W_{pemompaan}$$



Gambar 2.74 Diagram indikator mesin otto



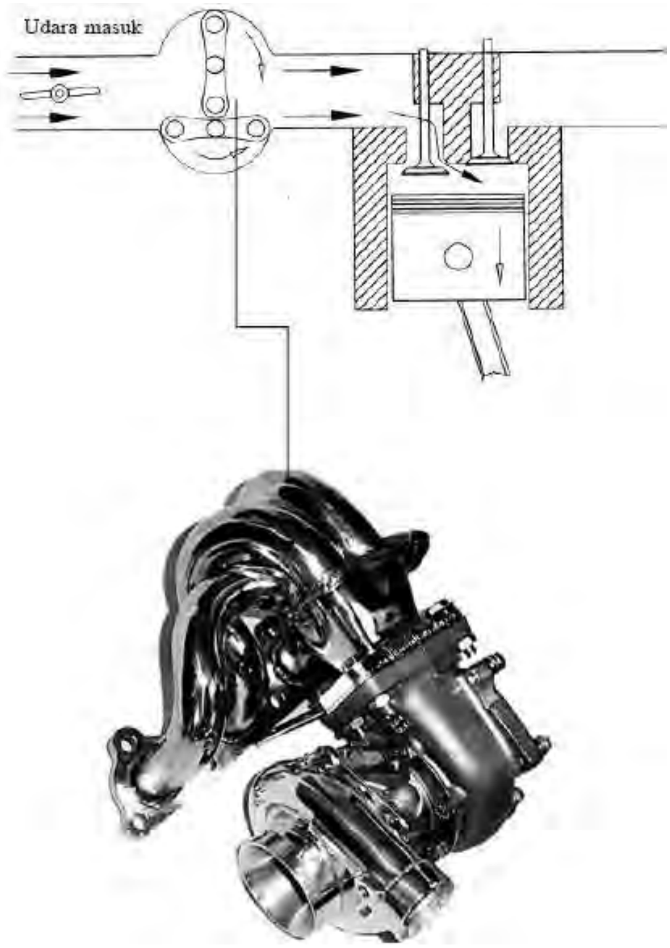
Gambar 2.75 Kerja indikator total

Kerja indikator total [Gambar 2.624] adalah kerja yang akan diteruskan torak ke poros engkol. Kerja indikator akan selalu berubah menyesuaikan dengan jumlah campuran bahan bakar udara yang dihisap oleh mesin. Pada kondisi putaran

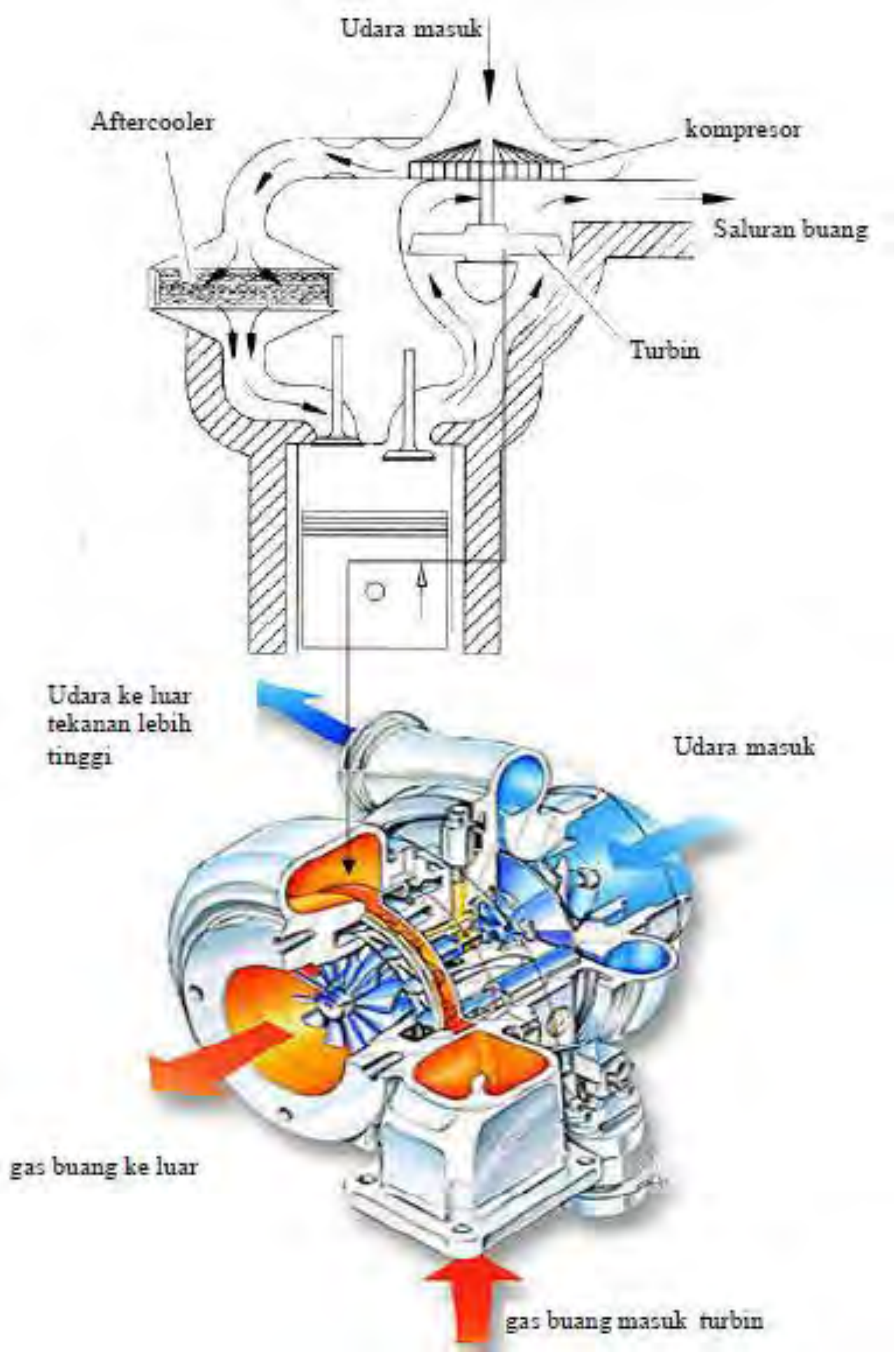
rendah kerja indikator kecil, kerja indikator paling besar apabila mesin mencapai efisiensi maksimum.

Harga dari $W_{pemompaan}$ yaitu kerja yang dibutuhkan pada langkah hisap dan buang akan selalu berharga negatif pada mesin standar, dimana udara masuk ke silinder pada langkah hisap, karena di ruang silinder tekanannya lebih rendah. Jadi diusahakan $W_{pemompaan}$ serendah mungkin untuk menghasilkan $W_{net\ indikator}$ yang besar.

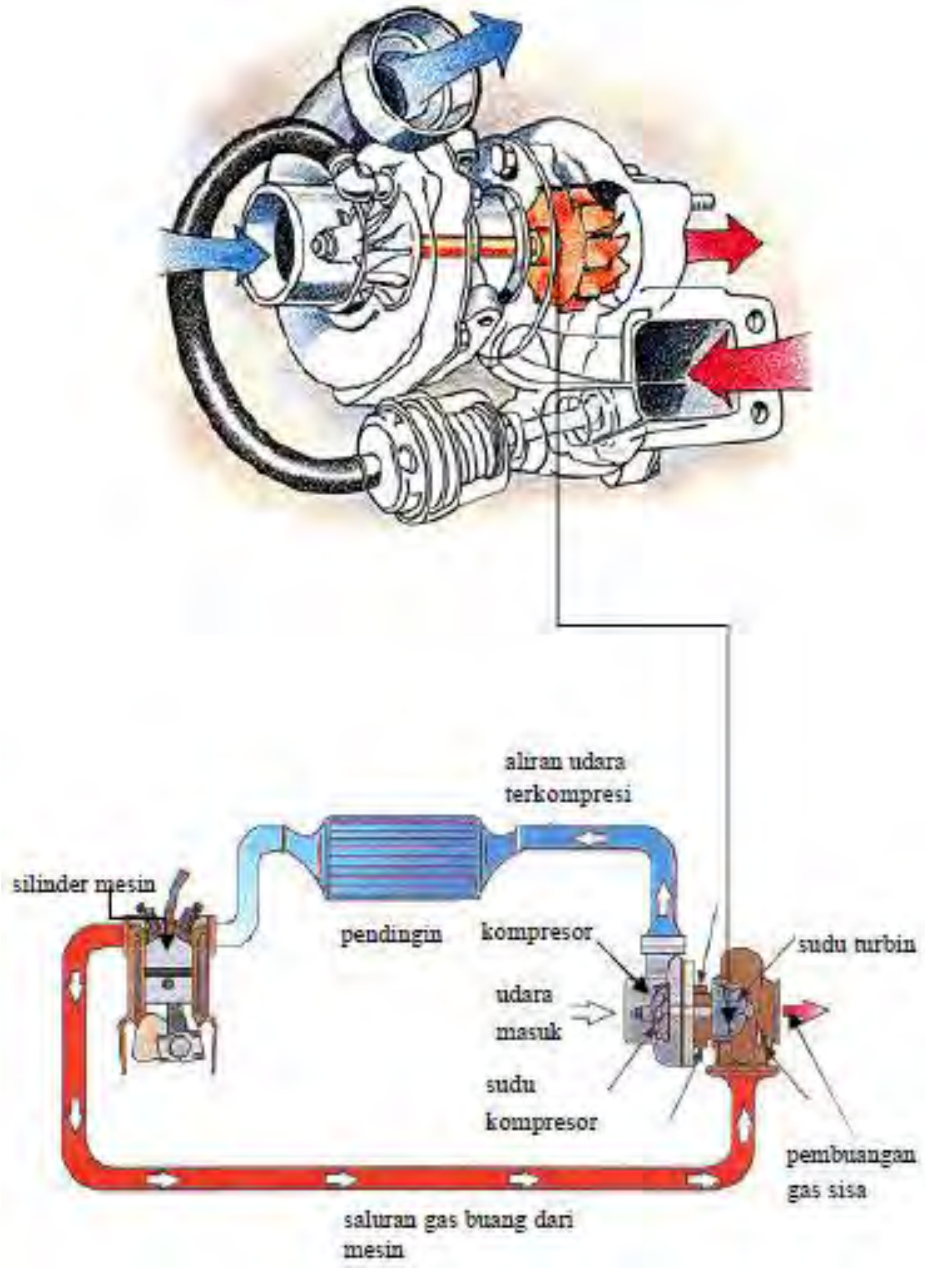
Pada mesin mesin yang dipasang *supercharger* [Gambar 2.625] atau *turbocharger* [Gambar 2.626] $W_{pemompaan}$ berharga positif karena udara dipaksa masuk pompa sehingga garis langkah hisap di atas langkah buang. Jadi kerja indikator total adalah $W_{net\ indikator} = W_{indikator} + W_{pemompaan}$. Jadi dapat dikatakan mesin yang dipasang supercharger atau turbocharhger mempunyai $W_{net\ indikator}$ yang lebih besar dibandingkan dengan mesin yang standar ($W_{net\ indikator\ superchager} > W_{net\ indikator}$) . Diagram indikator untuk mesin yang dipasang superchager atau turbocharger dapat dilihat pada Gambar 2.628



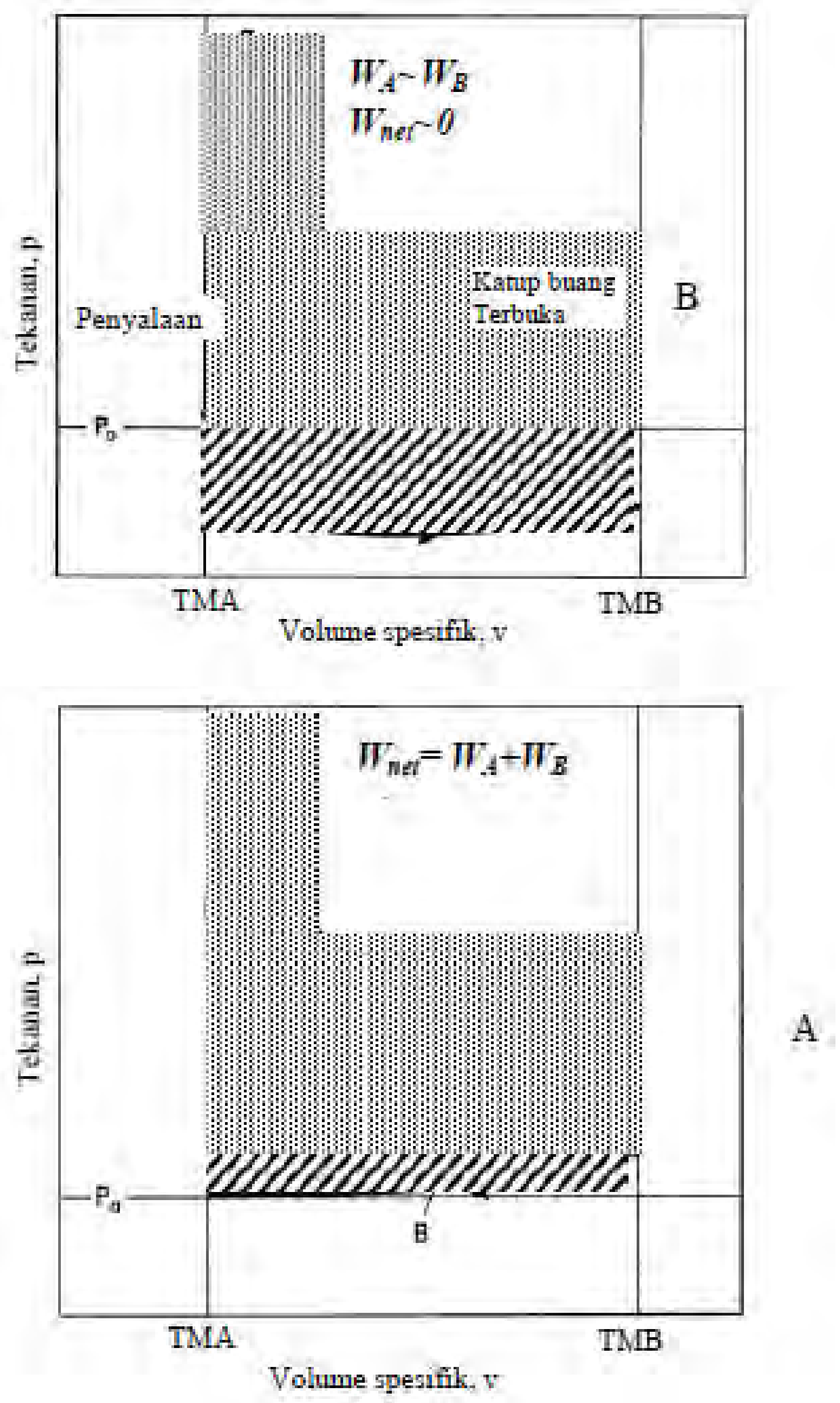
Gambar 2.76 Supercharger pada motor bakar



Gambar 2.77 Prinsip turbocharger pada motor bakar



Gambar 2.78 Instalasi turbocharger pada motor-bakar



Gambar 2.79 Perubahan diagram indikator dengan supercharging

8. Tekanan indikator rata-rata

Tekanan rata-rata atau *Mean Effective Pressure* **(MEP)** adalah suatu konsep untuk mencari harga tekanan tertentu konstan yang apabila mendorong piston sepanjang langkahnya dapat menghasilkan kerja persiklus $W_{net\ 2}$ yang sama dengan siklus yang dianalisis $W_{net\ 1}$. Pada gambar adalah grafik kerja indikator netto denga MEP nya.

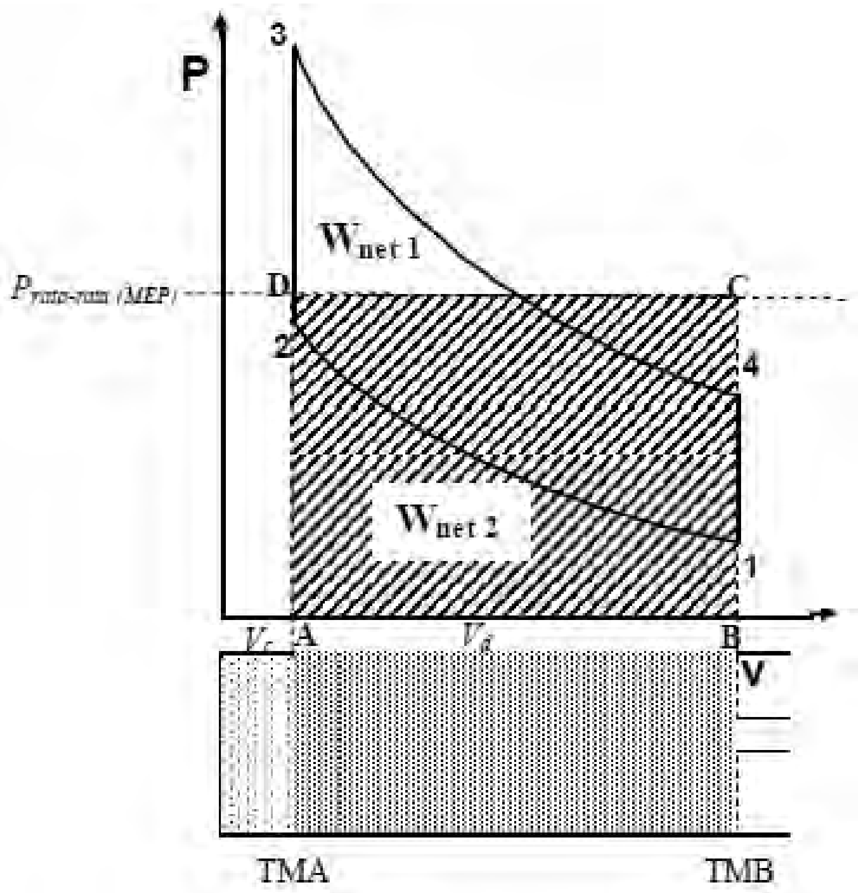
Tekanan rata-rata dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{rata-rata} = \frac{\text{kerja persiklus}}{\text{volume langkah torak}}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{W_{net,2}}{V_d} \quad \text{jadi } W_{net,2} = P_{rata-rata} \, x \, V_d$$

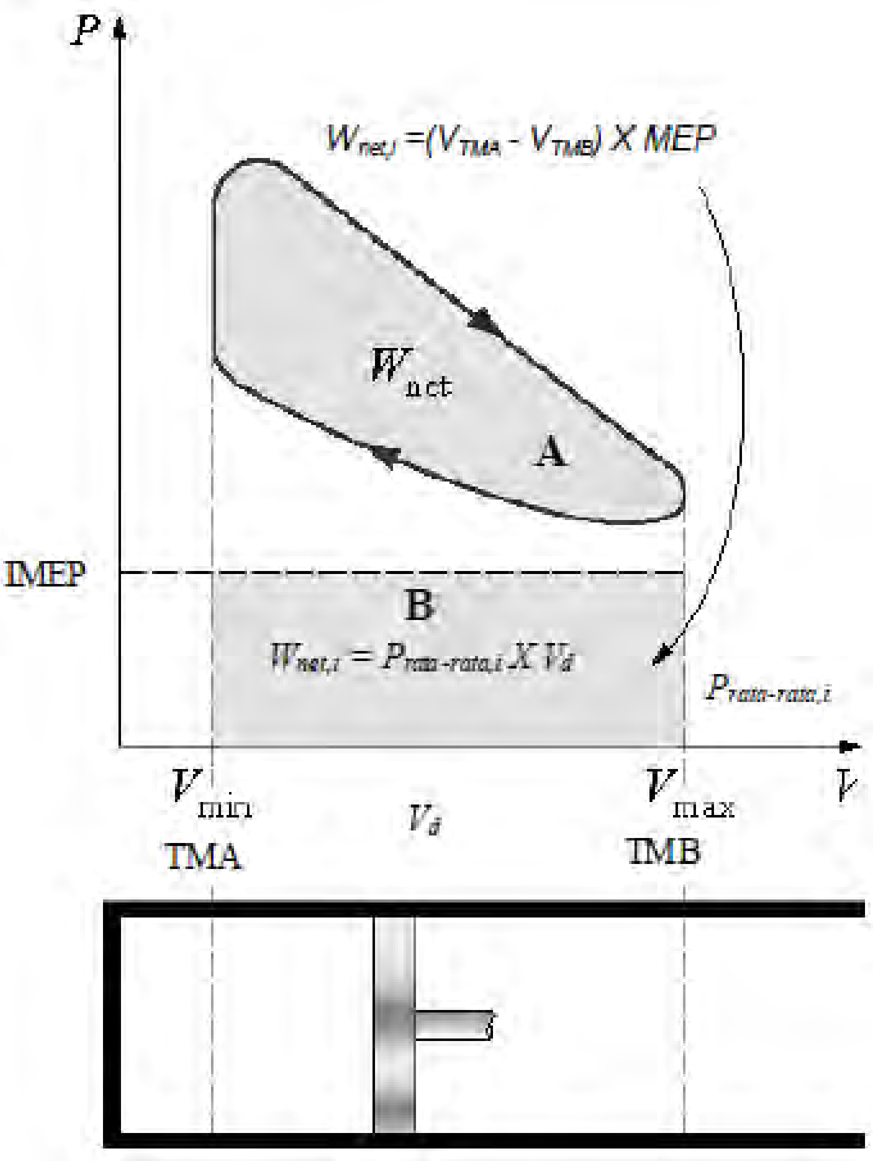
Luasan W_{net} adalah segi empat dengan lebar tekanan rata-rata *(MEP)* dan panjang V_d $(V_{TMA} - V_{TMB})$, maka untuk mencari luasannya:

W_{net} = panjang x lebar = $V_d \; X \; MEP = (V_{TMA} - V_{TMB}) \; X \; MEP$



Gambar 2.80 Diagram tekanan rata-rata

Jadi $P_{rata\text{-}rata}$ adalah suatu garis tekanan konstan, dimana pada posisi tersebut luas diagram *p -v* yang dibatasi oleh A-B-C-D sama dengan luasan bidang 1-2-3-4. $W_{net\ 1}$ adalah identik dengan $W_{net\ 2}$



Gambar 2.81 Diagram indikator rata-rata

Gambar 2.81di atas adalah diagram indikator hubungan tekanan dan volume. Dari diagram tersebut dapat diketahui kerja indikator netto $W_{net,i}$ dari siklus. Untuk mengetahui kerja indikator netto, dihitung terlebih dahulu tekanan efektif indiaktor rata-rata atau *Indicated Mean Effective Pressure* **(IMEP)** dari siklus, adapun caranya adalah sebagi berikut. Dari diagram indikator yang dihasilkan dari mesin uji, baca skala tekanan dan skala langkah toraknya.

- Skala langkah torak adalah 1 mm = **X** m
- Skala volume langkah adalah 1 mm = **AX** m^3
- Skala tekanan adalah 1 mm = **Y** N/m^2
- Skala kerja adalah 1 mm^2 = **Y.AX** N.m

Apabila diketahu luasan kerja indikator adalah C mm^2, maka **kerja indikator persiklus = C.Y.AX N.m,** sehingga tekanan indikatornya dapat dihitung dengan rumus:

$$P_{rata-rata,i} = \frac{\text{kerja indikator persiklus}}{\text{volume langkah torak}}$$

$$P_{rata-rata,i} = \frac{CxYxAX^2}{V_d} \ \text{N/m}^2$$

$$P_{rata-rata,i} = \frac{CxYxAX^2}{AxL} \ \text{N/m}^2 \text{ jadi}$$

$$P_{rata-rata,i} = \frac{CxYxX^2}{L} \ \text{N/m}^2$$

dengan L = panjang langkah torak cm

Tekanan indikator rata-rata yang diperoleh dari perhitungan di atas dapat digunakan untuk menghitung daya indikator. Dari rumus **a** dapat diperoleh perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Kerja indikator persiklus} = P_{rata-rata,i} x \text{volume langkah torak}$$

$$W_{net,i} = P_{rata-rata,i} x V_d$$

dengan $P_{rata-rata,\ i}$ = tekanan indikator rata-rata

Daya adalah kerja perwaktunya N = W/t (1/t adalah rotasi per waktu atau n), maka daya indikator dapat dihitung dengan persamaan:

$$N_i = W_{net,i} xn \ \text{Nm/s}$$

dengan n = putaran mesin (rpm)

Untuk mesin multisilinder untuk 4 langkah atau 2 langkah, rumus umum untuk menghitung daya indikator adalah:

$$N_i = P_{rata-rata,i} x V_d xnxaxz \ \text{Nm/s}$$

dengan n = putaran mesin (rpm)
a = jumlah siklus perputaran
= 1 untuk 2 langkah dan 1/2 untuk 4 langkah
z = jumlah silinder

9. Daya Poros atau Daya Efektif

Daya poros adalah daya efektif pada poros yang akan digunakan untuk mengatasi beban kendaraan. Daya poros diperoleh dari pengukuran torsi pada poros yang dikalikan dengan kecepatan sudut putarnya atau dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_e = Tx\omega \ \text{Nm/s}$$
$$= Tx2\pi n$$
$$= 2\pi(Txn)$$

dengan Ne = Daya poros Nm/s (Watt)
T = Torsi Nm
ω = Kecepatan sudut putar

Dari perumusan di atas, untuk menghitung daya poros *(brake power)* N_e harus diketahui terlebih dahulu torsi *T* dan putaran *n* mesinnya. Torsi diukur langsung dengan alat dinamometer dan putaran mesin diukur dengan tachometer.

10. Kerugian daya gesek

Daya gesek adalah energi persatuan waktu dari mesin yang harus diberikan untuk mengatasi tahanan dari komponen-komponen mesin yang bersinggungan. Besarnya daya gesek dapat dihitung dengan mengurangi daya indikator dengan daya poros, perhitungan ini dengan asumsi daya asesoris diabaikan. Perumusannya adalah:

$$N_e = N_i - (N_g + N_a)$$

apabila diasumsikan $N_a = 0$ maka,

$$N_g = N_i - N_e$$

Perhitungan daya gesek dengan cara ini cukup bagus untuk skala laboratorium.

11. Efisiensi Mesin

Efisiensi mesin menggambarkan tingkat efektifitas mesin bekerja. Secara alamiah setiap proses memerlukan energi, menghasilkan kerja untuk melakukan proses, kemudian ada energi yang harus dibuang. Seperti manusia yang harus makan untuk melakukan aktivitas kerja, selanjutnya secara alamiah harus ada

yang dibuang. Apabila proses ini tidak berjalan semestinya, manusia dinyatakan dalam keadaan sakit dan tidak dapat melakukan kerja. Dalam kondisi ini seandainya manusia adalah mesin maka manusia dalam keadaan rusak.

Konsep efisiensi menjelaskan bahwa perbandingan antar energi berguna dengan energi yang masuk secara alamiah tidak pernah mencapai 100%. Pada motor bakar ada beberapa definisi dari efisiensi yang menggambarkan kondisi efektivitas mesin bekerja, yaitu:

1. Efisiensi termal
2. Efisiensi termal indikator
3. Efisiensi termal efektif
4. Efisiensi mekanik
5. Efisiensi volumetrik

11.1 Efisiensi termal

Efisiensi termal adalah konsep dasar dari efisiensi siklus ideal yang didefinisikan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang masuk. Energi berguna adalah pengurangan antara energi masuk dengan energi terbuang. Jadi efisiensi termal dirumuskan dengan persamaan :

$$\eta = \frac{\text{Energi berguna}}{\text{Energi masuk}}$$

11.2 Efisiensi termal indikator

Efisiensi termal indikator adalah efisiesi termal dari siklus aktual diagram indikator. Energi berguna dari diagram indikator adalah kerja indikator dan energi masuknya adalah energi dari proses pembakaran perkilogramnya. Perumusannya adalah sebgai berikut:

$$\eta_i = \frac{\text{Energi berguna}}{\text{Energi masuk}} = \frac{\text{daya indikator}}{\text{laju energi kalor masuk per kg}}$$

$$\eta_i = \frac{N_i}{\dot{Q}_m}$$

Karena efisiensi termal indikator adalah pada siklus aktual maka fluidanya adalah bahan bakar dengan udara, sehingga perhitungan energi adalah sebagai berikut:

$$\dot{Q}_m = \dot{G}_f \, x Q_c$$

$$\eta_i = \frac{N_i}{\dot{Q}_m}$$

$$\eta_i = \frac{N_i}{\dot{G}_f \, x Q_c}$$

$$\eta_i = \frac{P_{rata-rata,i} \, x V_d x n x a x z}{\dot{G}_f \, x Q_c}$$

dengan N_i = Daya indikator (watt)

$\dot{Q}_m$ = laju kalor masuk per kg bahan bakar (kcal/kg.jam)

$\dot{G}_f$ = laju bahan bakar yang digunakan (kg/jam)

Q_c = Nilai kalor bahan bakar per kcal/kg

11.3 Efisiensi termal efektif

Efisiensi termal efektif adalah perbandingan daya poros atau daya efektif dengan laju kalor masuknya. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$\eta_e = \frac{\text{daya poros}}{\text{laju energi kalor masuk per kg}} = \frac{N_e}{\dot{Q}_m}$$

$$\eta_e = \frac{N_e}{\dot{G}_f \, x Q_c}$$

$$\eta_e = \frac{P_{rata-rata,e} \, x V_d x n x a x z}{\dot{G}_f \, x Q_c}$$

11.4 Efisiensi mekanik

Semua beban mesin diatasi dengan sumber energi dari proses pembakaran yang menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik yang terukur pada diagram indikator adalah kerja indikator. Kerja indikator persatuan waktu inilah yang akan ditransfer mejadi kerja poros persatuan waktu. Adapun besarnya nilai efektivitas dari transfer daya indikator menjadi daya poros adalah efisiensi mekanis. Jadi efisiensi mekanis adalah perbandingan antara daya poros dengan daya indikator dan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Apabila $\quad \eta_e = \frac{N_e}{\dot{Q}_m}$ dan $\eta_i = \frac{N_i}{\dot{Q}_m}$

apabila dua persamaan tersebut disubstitusikan pada $\quad \eta_m = \frac{N_e}{N_i}$

menjadi $\quad \eta_m = \frac{\eta_e}{\eta_i}$, jadi jelas bahwa daya poros yang dihasilkan dari daya indikator harus dikalikan dengan efisiensi mekaniknya. $\quad \eta_e = \eta_m x \eta_i$

11.5 Efisiensi volumetrik

Udara yang dihisap masuk silinder selalu banyak mengalami hambatan aliran sehingga aliran udara banyak kehilangan energi, disamping itu udara hisap juga menyerap panas dari saluran hisap terutama pada ujung saluran hisap yang ada katup masuknya. Karena menyerap panas temperatur udara menjadi naik dan menyebabkan massa jenis turun tetapi menaikkan nilai viskositasnya. Dengan kondisi tersebut udara lebih sulit mengalir dengan massa per satuan volumenya juga berkurang. Untuk mendefinisikan jumlah udara yang masuk ke ruang silinder dirumuskan ukuran keefektifan aliran udaran masuk yaitu efisiensi volumetri. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$\eta_v = \frac{\overset{\circ}{G}_a}{\overset{\circ}{G}_{ai}} = \frac{\text{jumlah udara masuk kedalam silinder aktual (kg/jam)}}{\text{jumlah udara masuk kedalam silinder ideal(kg/j am)}}$$

$$\eta_v = \frac{\overset{\circ}{G}_a}{\overset{\circ}{G}_{ai}} = \frac{\overset{\circ}{\gamma}_a}{\overset{\circ}{\gamma}_{ai}} \text{ dengan } \gamma = \text{massa jenis udara (kg/m}^3\text{)}$$

Hubungan efisiensi volumetrik dengan tekanan rata-rata efektif adalah:

$$P_{erata-rata} = \eta_e \, \eta_v . f . Q_c . \gamma_{ai} . 0{,}0427 \text{ kg/cm}^2$$

dengan f = perbandingan bahan bakar udara

$$f = \frac{\overset{\circ}{G}_f}{\overset{\circ}{G}_a} = \frac{\text{jumlah bahan bakar yang digunakan kg/jam}}{\text{jumlah udara yang digunakan kg/jam}}$$

dari perumusan di atas terlihat bahwa tekanan efektif rata-rata bergantung dari nilai dari $\boldsymbol{n}_{v}$.

c. Rangkuman

1. Proses perubahan energi dari mulai proses pembakaran sampai menghasilkan daya pada poros motor bakar melewati beberapa tahapan dan tidak mungkin perubahan energinya 100%. Selalu ada kerugian yang dihasikan dari selama proses perubahan, hal ini sesuai dengan hukum termodinamika kedua yaitu "tidak mungkin membuat sebuah mesin yang mengubah semua panas atau energi yang masuk memjadi kerja".
2. Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar F, benda berpuar pada porosnya dengan jari jari sebar b, dengan data tersebut torsinya adalah
3. Daya indikator adalah merupakan sumber tenaga persatuan waktu operasi mesin untuk mengatasi semua beban mesin. Untuk lebih mudah pemahaman di bawah ini dalah perumusan dari masing masing daya. Satuan daya menggunakan HP(hourse power)

$$N_e = N_i - (N_g + N_a) \text{ (HP)}$$

4. Daya poros diperoleh dari pengukuran torsi pada poros yang dikalikan dengan kecepatan sudut putarnya atau dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut ;

$$N_e = Tx\omega \text{ Nm/s}$$

5. Daya gesek adalah merupakan energi persatuan waktu dari mesin yang harus diberikan untuk mengatasi tahanan dari komponen-komponen mesin yang bersinggungan

$$N_e^{'} = N_i - (N_g^{'} + N_a)$$

6. Efisiensi termal dirumuskan dengan persamaan :

$$\eta = \frac{\text{Energi berguna}}{\text{Energi masuk}}$$

7. Efisiensi termal indikator adalah efisiesi termal dari siklus aktual Diagram

$$\text{indikator}\eta_i = \frac{\text{Energi berguna}}{\text{Energi masuk}} = \frac{\text{daya indikator}}{\text{laju energi kalor masuk per kg}}$$

8. Efisiensi termal efektif adalah perbandingan daya poros atau daya efektif dengan laju kalor masuknya

$$\eta_e = \frac{\text{daya poros}}{\text{laju energi kalor masuk per kg}} = \frac{N_e}{\dot{Q}_m}$$

9. Jadi efisiensi mekanis adalah perbandingan antara daya poros dengan daya indikator dan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

10. Untuk mendefinisikan jumlah udara yang masuk ke ruang silinder dirumuskan ukuran keefektifan aliaran udaran masuk yaitu efisiensi volumteri.

$$\eta_v = \frac{\mathring{G}_a}{\mathring{G}_{ai}} = \frac{\text{jumlah udara masuk kedalam silinder aktual}(\text{kg/jam})}{\text{jumlah udara masuk kedalam silinder ideal(kg/j am)}}$$

11. Laju pemakaian bahan bakar spesifik atau *spesific fuel consumtion* (SFC) adalah jumlah bahan bakar (kg) per waktunya.

untuk menghasikan daya sebesar 1 Hp. $SFC_e = \frac{\mathring{G}_f}{N_e}$

d. Tugas

Soal

1. Jelaskan properties/ komponen yang berhubungan dengan pretasi mesin/ engine . . . ?
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan volume langkah dan volume ruang bakar . . . .?
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan Torsi dan Daya Mesin pada motor bakar . . . ?
4. Jelaskan macam-macam efisiensi mesin pada motor bakar . . .?

5. Hitunglah !

   1. Untuk menaikkan kemampuan mesin kendaraan bermotor, seorang ahli mekanik **kendaran bermotor melakukan modifikasi mesin sehingga diharapkan unjuk kerja** mesin naik terutama dayanya. Ahli mekanik tersebut membawa sepeda motornya ke laboratorium uji. Dari pengujian diperoleh data-data sebagai berikut. Tekanan indikator rata-rata 8 kg/cm^2, pada putaran 2400 rpm besar torsinya 40 kg.m. Konsumsi bahan bakarnya 25 kg/jam dengan nilai kalor 1500 kcal/kg. Adapun data kendaran bermotornya adalah mesin 4 tak, satu silinder, dengan volume langkah 100 cm^2. Hitunglah efisiseni efektifnya ! dan berapa SFC ?

   2. Seorang pemilik kendaraan bermotor berniat untuk memasang AC (80 Hp) pada mobil sedannya, sebelum melakukan pemasangan, si pemilik sedan membawa mobilnya ke sebuah bengkel untuk diuji dayanya. Dari hasil uji diperoleh data sebagai berikut. Torsi maksimum 150 kg.m tercapai pada putaran 3000 rpm. Data-data sedannya adalah : Mesin 4 tak 8 silinder, volume langkah 1500 cm^3, tekanan indikator rata-rata 15 kg/cm^2. Batas minimum efisiensi efektif adalah 10% mobil sedan masih bekerja normal. Periksa apakah dengan pemasangan AC mobil sedan masih dapat bekerja normal. !!

4. Kegiatan belajar 4 : Pengetahuan Dasar Turbin

a. Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari secara keseluruhan materi kegiatan belajar dalam modul ini peserta diklat diharapkan mampu :

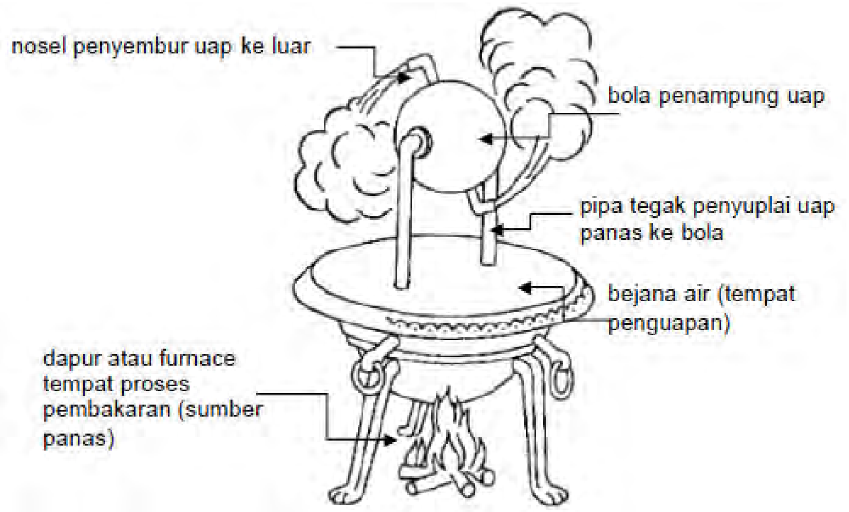
1) Menjelaskan difinisi Turbin Uap dengan benar
2) Menjelaskan perbedaan dan persamaan Turbin Impuls dan Reaksi dengan benar
3) Menjelaskan apa yang dimaksud dengan Segitiga Kecepatan pada turbin dengan benar
4) Menjelaskan perbedaan macam-macam turbin Impuls dengan benar

b. Uraian materi :

1. Sejarah Turbin

Penggunaan turbin uap untuk keperluan industri merupakan pilihan yang cukup menguntungkan karena mempunyai efisiensi yang relatif tinggi dan bahan bakar yang digunakan untuk pembangkitan uap dapat bervariasi. Penggunaan turbin uap yang paling banyak adalah untuk mesin pembangkitan tenaga listrik. Sumber uap panas sebagai fluida yang mempunyai energi potensial tinggi berasal dari sistem pembangkit uap (boiler) atau dari sumber uap panas geotermal.

Adapun definisi turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik kemudian energi kinetik tersebut diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Poros turbin dihubungkan dengan yang digerakkan, yaitu generator atau peralatan mesin lainnya, menggunakan mekanisme transmisi roda gigi. Berdasarkan definisi tersebut maka turbin uap termasuk mesin rotari. Jadi berbeda dengan motor bakar yang merupakan mesin bolak-balik (*reciprocating*).



Gambar 2.82Mesin uap Hero

Dalam sejarah, mesin uap pertama kali dibuat oleh Hero dari Alexandria, yaitu sebuah prototipe turbin uap primitif yang bekerja menggunakan prisip reaksi. Gambar 2.82menunjukkan turbin uap Hero dimana tubin ini terdiri dari sumber kalor, bejana yang diisi dengan air dan pipa tegak yang menyangga bola dimana pada bola terdapat dua nosel uap. Proses kerjanya adalah sebagai berikut, sumber kalor akan memanasi air di dalam bejana sampai air menguap, lalu uap tersebut mengalir melewati pipa tegak masuk ke bola. Uap tersebut terkumpul di dalam bola, kemudian melalui nosel menyembur ke luar, karena semburan tersebut, bola mejadi berputar.

Selanjutnya setelah penemuan Hero, beberapa abad kemudian dikembangkan turbin uap oleh beberapa orang yang berusaha memanfaatkan uap sebagai sumber energi untuk peralatan mereka. Thomas Savery (1650-1715) adalah orang Inggris yang membuat mesin uap bolak-balik pertama, mesin ini tidak populer karena mesin sering meledak dan sangat boros uap. Untuk memperbaiki kinerja dari mesin Savery, Denis Papin (1647-1712) membuat katup-katup pengaman dan mengemukakan gagasan untuk memisahkan uap air dan air dengan menggunakan torak.

Gagasan Papin direspons oleh Thomas Newcomen (1663-1729) yang merancang dan membangun mesin menggunakan torak. Prinsip kerja yaitu uap tekanan rendah dimasukan ke silinder dan menekan torak sehingga bergerak ke atas. Selanjutnya, silinder disemprot air sehingga terjadi kondensasi uap, tekanan

menjadi turun dan vakum. Karena tekanan atmosfer dari luar torak turun maka terjadi langkah kerja.

Perkembangan mesin uap selanjutnya adalah mesin uap yang dikembangkan oleh James Watt. Selama kurang lebih 20 tahun ia mengembangkan dan memperbaiki kinerja dari mesin Newcomen. Gagasan James Watt yang paling penting adalah mengkonversi gerak bolak-balik menjadi geraka putar (1781). Mesin tersebut kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Corliss (1817-1888), yaitu dengan mengembangkan katup masuk yang menutup cepat, untuk mencegah pencekikan katup pada waktu menutup. Mesin Corliss menghemat penggunaan bahan bakar batu bara separo dari batu bara yang digunakan mesin uap James watt.

Kemudian Stumpf (1863) mengembangkan mesin *uniflow* yang dirancang untuk mengurangi susut kondensasi. Mesin uap yang dibuat paling besar pada abad 18 adalah menghasikan daya 5 MW, pada waktu itu dianggap raksasa, karena tidak ada lagi mesin yang lebih besar. Seiring dengan kebutuhan tenaga listrik yang besar, kemudian banyak pengembangan untuk membuat mesin yang lebih efisien yang berdaya besar.

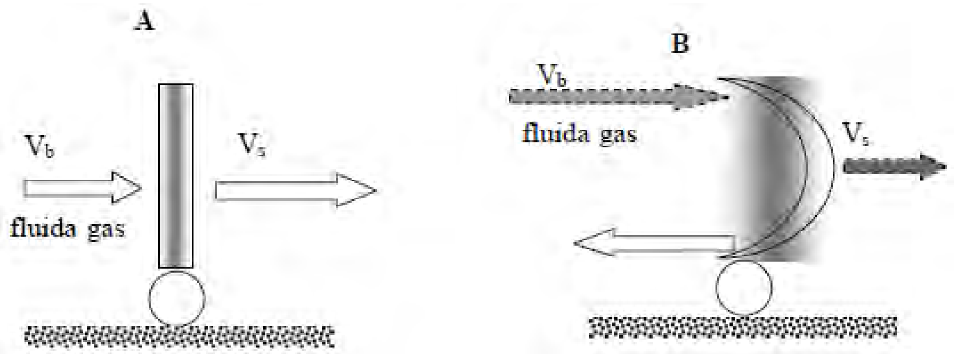
Mesin uap bolak-balik memiliki banyak keterbatasan, antara lain mekanismenya terlalu rumit karena banyak penggunaan katup-katup dan juga mekanisme pengubah gerak bolak-balik menjadi putaran. Maka untuk memenuhi tuntutan kepraktisan mesin uap dengan efisiensi berdaya lebih besar, dikembangkan mesin uap rotari. Mesin uap rotari komponen utamanya berupa poros yang bergerak memutar. Model konversi energi potensial uap tidak menggunakan torak lagi, tetapi menggunakan sudu-sudu turbin.

Gustav de Laval (1845-1913) dari Swedia dan Charles Parson (1854-1930) dari Inggris adalah dua penemu awal dari dasar turbin uap modern. De laval pada mulanya mengembangkan turbin rekasi kecil berkecepatan tinggi, namun menganggapnya tidak praktis dan kemudian mengembangkan turbin impuls satu tahap yang andal, dan namanya digunakan untuk nama turbin jenis impuls. Berbeda dengan De laval, Parson mengembang turbin rekasi tingkat banyak, turbinnya dipakai pertama kali pada kapal laut.

Disamping para penemu di atas, penemu-penemu lainnya saling melengkapi dan memperbaiki kinerja dari turbin uap. Rateau dari Prancis mengembangkan turbin impuls tingkat banyak, dan C.G. Curtis dari Amerika Serikat mengembangkan tubin impuls gabungan kecepatan. Selanjutnya, penggunaan turbin uap meluas dan praktis menggantikan mesin uap bolak-balik, dengan banyak keuntungan. Penggunaan uap panas lanjut yang meningkatkan efisiensi sehingga turbin uap berdaya besar (1000 MW, 3600 rpm, 60 Hz) banyak dibangun.

2. Asas Impuls dan Reaksi

Turbin adalah mesin rotari yang bekerja karena terjadi perubahan energi kinetik uap menjadi putaran poros turbin. Proses perubahan itu terjadi pada sudu-sudu turbin. Sebagai perbandingan dengan mesin torak yang bekerja karena ekpansi energi panas gas atau uap di dalam silinder yang mendorong torak untuk bergerak bolak-balik. Pada dasarnya, prinsip kerja mesin torak dengan turbin uap adalah sama. Fluida gas dengan energi potensial yang besar berekspansi sehingga mempunyai energi kinetik tinggi yang akan medorong torak atau sudu, karena dorongan atau tumbukan tersebut, torak atau sudu kemudian bergerak. Proses tumbukan inilah yang dinamakan dengan Impuls.



Gambar 2.83 Azas impuls pada plat datar dan sudu

Azas impuls dapat dijelaskan dengan metode sebagai berikut. Pada gambar 2.83 A adalah sebuah pelat yang ditumbuk dengan fluida gas berkecepatan V_s, dan laju massa $\cdot m$, karena pelat itu beroda sehingga bergerak dengan kecepatan V_b. Besarnya daya dapat dihitung dengan persamaan:∂

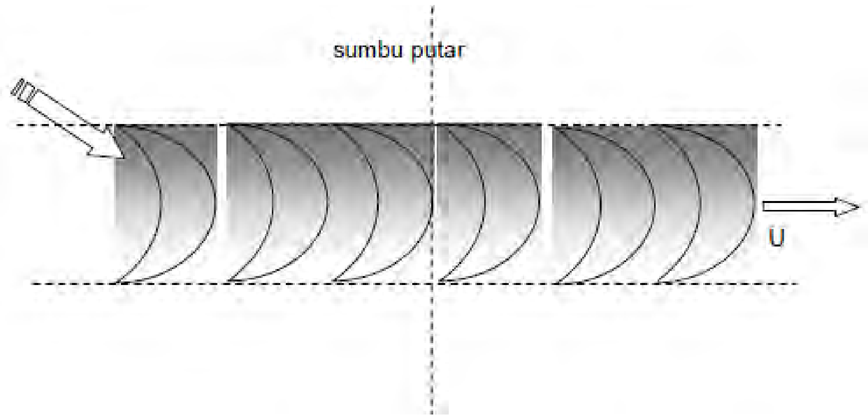
$$\dot{W}_{optimum}(plat) = \frac{\dot{m}V_s^2}{4}$$

sedangkan pada ganbar B adalah sebuah sudu yang ditumbuk fluida gas dengan laju masa $\cdot m$, maka daya yang dihasilkan adalah:

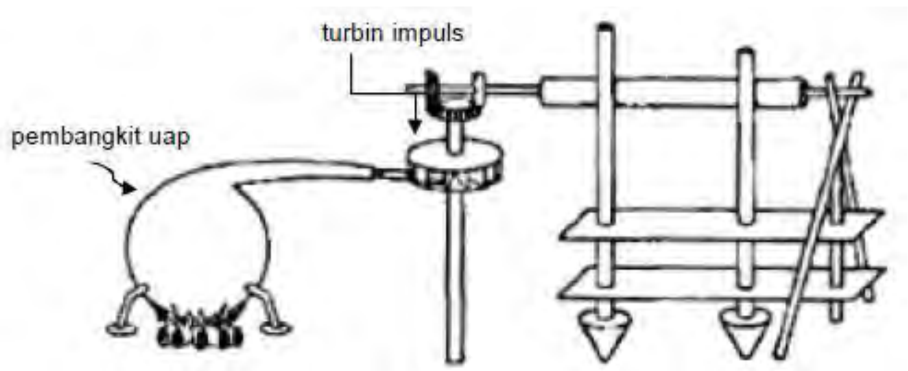
$$\dot{W}_{optimum}(sudu) = \frac{\dot{m}V_s^2}{2}$$

Dari dua model di atas, dapat dilihat bahwa model sudu mempunyai daya yang lebih besar pada kecepatan dan laju massa fluida gas yang sama. Maka dengan alasan tersebut, bentuk sudu dianggap yang paling efisien untuk diterapkan pada turbin uap atau jenis turbin lainnya seperi turbin gas dan air.

Penerapan model sudu tersebut di atas pada turbin uap, penataannya kurang lebih seperti pada gambar 2.84, yaitu menata sudusudu tersebut sebaris mengelilingi roda jalan atau poros turbin uap, sehingga terjadi keseimbangan gaya.



Gambar 2.84 Sudu sudu impuls pada rotor turbin uap



Gambar 2.85 Mesin uap Branca dengan turbin impuls

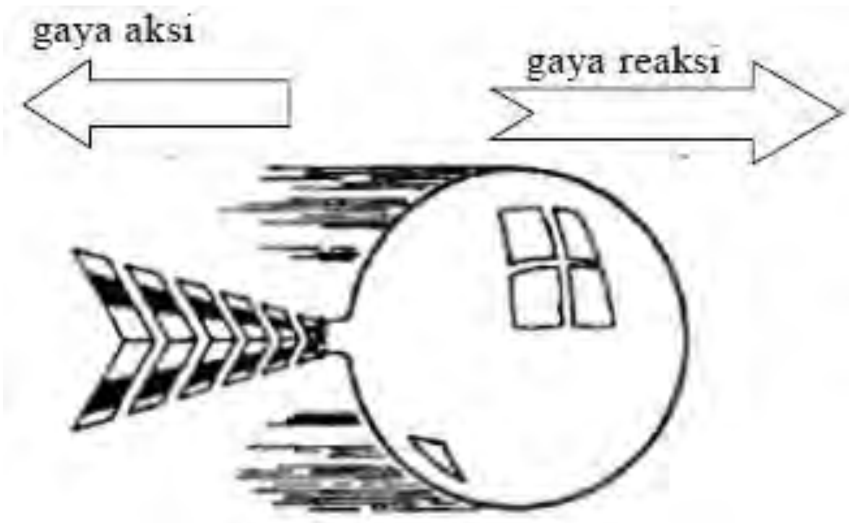
Model turbin impuls dalam sejarahnya sudah pernah dibuat oleh Branca (Gambar 2.85). Prinsip kerjanya adalah dengan menyemburkan uap berkecapatan tinggi melalui nosel ke sudu-sudu impuls pada roda jalan. Akibat adanya tumbukan antara semburan gas dengan sudu-sudu jalan turbin impuls, poros turbin menjadi berputar.

Berbeda dengan azas impuls azas reaksi, untuk sebagaian orang lebih sulit dipahami. Untuk menggambarkan azas reaksi bekerja pada gambar adalah model jet uap dari Newton.



Gambar 2.86 Mesin uap Newton gaya aksi rekasi

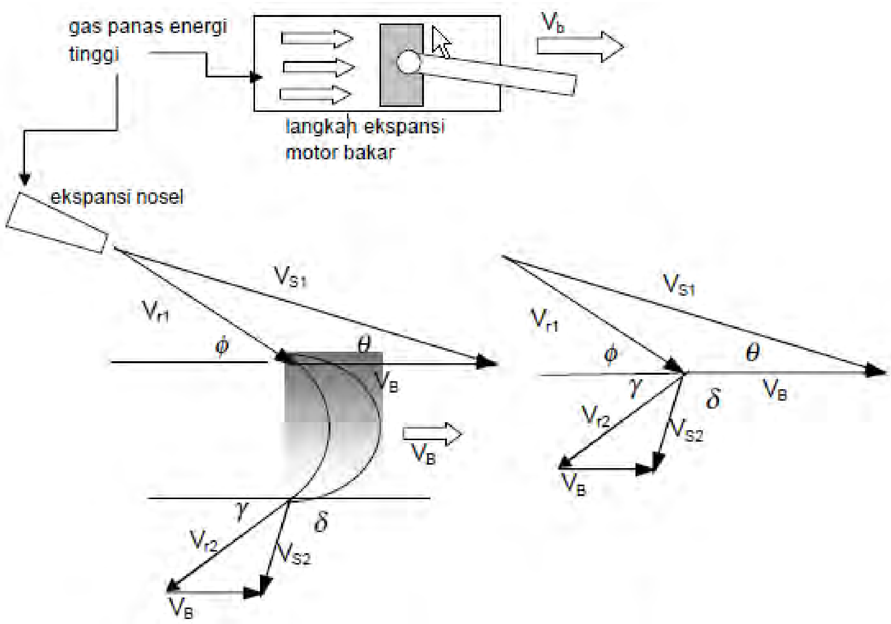
Semburan uap dari tabung mempunyai energi kinetik yang besar sehingga sepeda akan bergerak ke kiri. Dari hal tersebut dapat dipahami bahwa mesin tersebut bekerja dengan azas reaksi, yaitu semburan uap melakukan aksi sehingga timbul reaksi pada sepeda untuk begerak melawan aksi. Pada gambar adalah contoh lain dari aksi-reaksi.



Gambar 2.87 Gaya aksi-reaksi pada balon

3. Segitiga Kecepatan

Segitiga kecepatan adalah dasar kinematika dari aliran fluida gas yang menumbuk sudut turbin.



Gambar 2.88 Segitiga kecepatan pada sudu turbin impuls

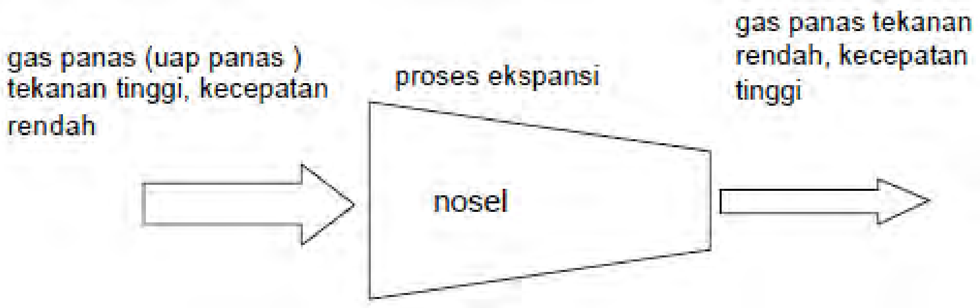
Dengan pemahaman segitiga kecepatan akan sangat membantu dalam pemahaman proses konversi pada sudusudu turbin uap atau pada jenis turbin yang lain. Adapun notasi dari segitiga kecepatan adalah sebagai berikut

V_{s1} = kecepatan absolut fluida meninggalkan nosel
V_B = kecepatan sudu
V_{r1} = kecepatan relatif fluida
V_{r2} = kecepatan relatif fluida meninggalkan sudu
V_{s2} = kecepatan absolut fluida meninggalkan sudu
θ = sudut nosel
ϕ = sudut masuk sudu
δ = sudut ke luar sudu
γ = sudut ke luar fluida

Dari segitiga kecepatan di atas, panjang pendeknya garis adalah mewakili dari besar kecepatan masing-masing. Sebagai contoh, fluida masuk sudu dari nosel dengan kecepatan V_{S1} kemudian ke luar dari nosel sudah berkurang menjadi V_{S2}

dengan garis yang lebih pendek. Artinya sebagian energi kinetik fluida masuk sudu diubah menjadi energi kinetik sudu dengan kecepatan V_B , kemudian fluida yang sudah memberikan energinya meninggalkan sudu dengan kecepatan V_{S2}.

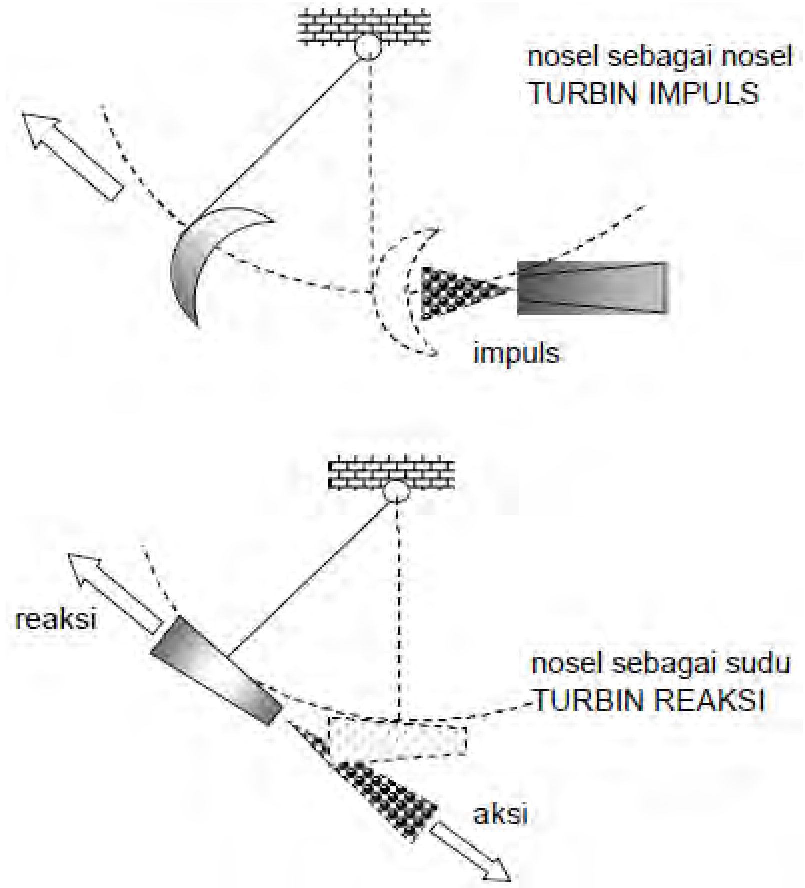
Proses perubahan atau konversi energi pada turbin adalah sama dengan perubahan energi pada motor bakar, tetapi dengan metode yang berbeda. Untuk motor bakar, pada langkah ekspansi fluida gas yaitu gas pembakaran energinya mengalami penurunan bersamaan dengan penurunan tekanan di dalam silinder. Hal itu terjadi karena sebagian energinya diubah menjadi energi kinetik gas pembakaran dan dikenakan langsung pada torak. Karena ada dorongan dari energi kinetik gas pembakaran torak bergerak searah dengan gaya dorong tersebut, kondisi ini disebut langkah tenaga.



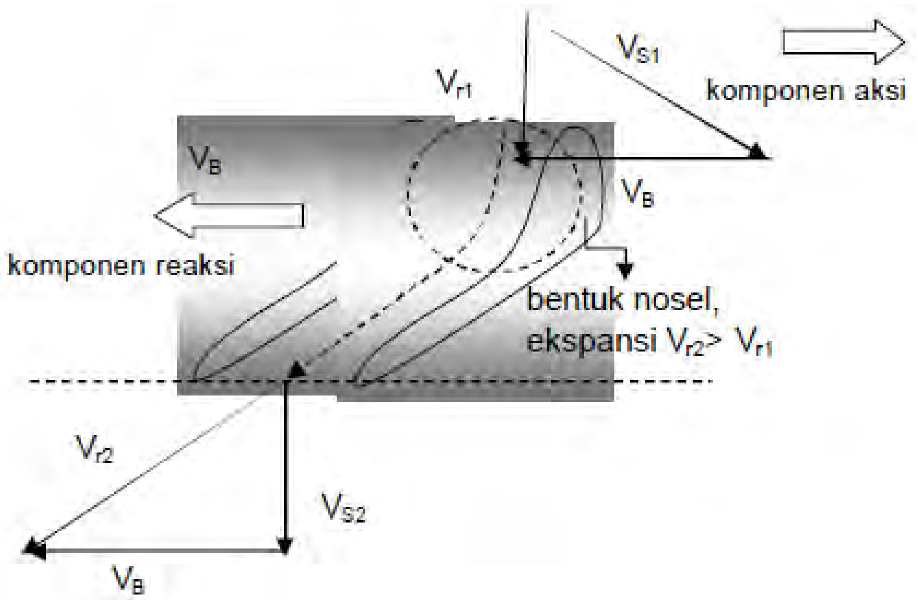
Gambar 2.89 Proses ekspansi pada nosel

Pada turbin, proses perubahan energi mulai terjadi di nosel, yaitu ekspansi fluida gas pada nosel. Pada proses ekspansi di nosel, energi fluida mengalami penurunan, demikian juga tekanannya. Berbarengan dengan penurunan energi dan tekanan, kecepatan fluida gas naik, dengan kata lain energi kinetik fluida gas naik karena proses ekspansi. Kemudian, fluida gas dengan energi kinetik tinggi menumbuk sudu turbin dan memberikan sebagian energinya ke sudu, sehingga sudu pun begerak. Perubahan energi dengan tumbukan fluida di sudu adalah azas impuls.

Untuk perubahan energi dengan azas reaksi, sudu turbin reaksi berfungsi seperti nosel. Hal ini berarti, pada sudu turbin reaksi terjadi proses ekspansi, yaitu penurunan tekanan fluida gas dengan dibarengi kenaikan kecepatan. Karena prinsip reaksi adalah gerakan melawan aksi, jadi dapat dipahami dengan kenaikan kecepatan fluida gas pada sudu turbin reaksi, sudu turbin pun akan bergerak sebesar nilai kecepatan tersebut dengan arah yang berlawanan.



Gambar 2.90 Fungsi nosel



Gambar 2.91 Segitiga kecepatan sudu bergerak turbin reaksi

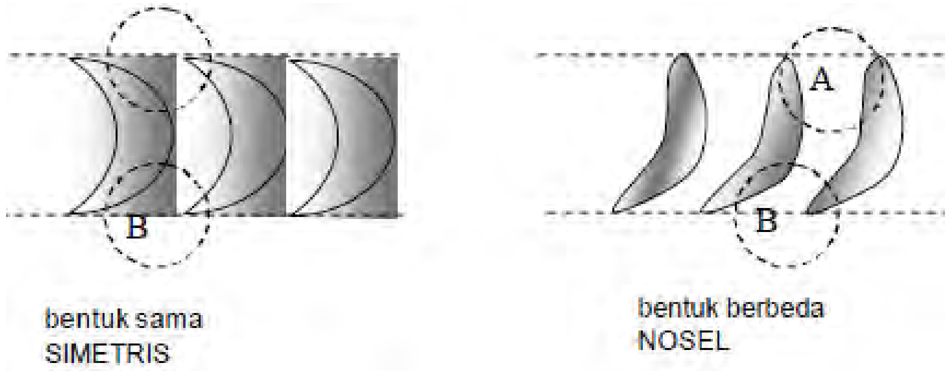
4. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin yang mempunyai roda jalan atau rotor dimana terdapat sudu-sudu impuls. Sudu-sudu impuls mudah dikenali bentuknya, yaitu

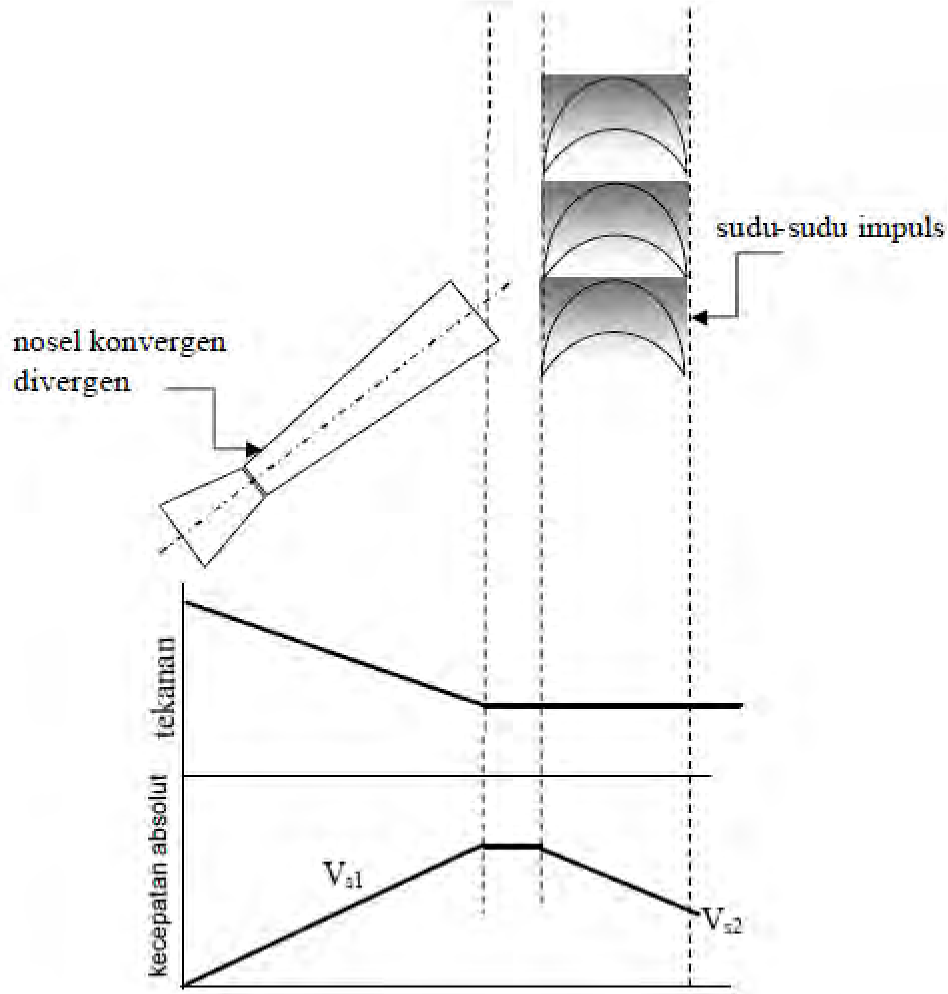
simetris dengan sudut masuk ø dan sudut ke luar γ yang sama (20^0), pada turbin biasanya ditempatkan pada bagian masuk dimana uap bertekanan tinggi dengan volume spesifik rendah. Bentuk turbin impuls pendek dengan penampang yang konstan.

Ciri yang lain adalah secara termodinamika penurunan energi terbanyak pada nosel, dimana pada nosel terjadi proses ekspansi atau penuruan tekanan. Sudu-sudu turbin uap terdiri dari sudu tetap dan sudu gerak. Sudu tetap berfungsi sebagai nosel dengan energi kinetik yang naik, sedangkan pada sudu begerak tekanannya konstan atau tetap. Berdasarkan karakteristik tersebut, turbin impuls sering disebut turbin tekanan sama.

Bentuk dari sudu tetap turbin impuls ada dua macam yaitu bentuk simetris dan bentuk tidak simetris. Pada bentuk sudu tetap simetris, profil kecepatan dan tekanan adalah sama, tidak ada perubahan kecepatan dan tekanan. Sedangkan pada sudu tetap yang berfungsi sebagi nosel mempunyai bentuk seperti nosel, yaitu antar penampang sudu membetuk penampang yang menyempit pada ujungnya. Karena bentuknya nosel, kecepatan akan naik dan tekanan turun. Bentuk pertama simetri dipakai pada turbin uap Curtis dan bentuk yang kedua dipakai turbin uap Rateau.



Gambar 2.92 Bentuk sudu tetap turbin impuls



Gambar 2.93 Turbin uap impuls satu tahap

4.1 Turbin impuls satu tahap (Turbin De Laval)

Pada gambar 2.93 di atas adalah skema turbin De laval atau turbin impuls satu tahap. Turbin terdiri dari satu atau lebih nosel konvergen divergen dan sudu-sudu impuls terpasang pada roda jalan (rotor). Tidak semua nosel terkena semburan uap panas dari nosel, hanya sebagian saja. Pengontrolan putaran dengan jalan menutup satu atau lebih nosel konvergen divergen.

Adapun cara kerjanya adalah sebagai berikut. Aliran uap panas masuk nosel konvergen divergen, di dalam nosel uap berekspansi sehingga tekanannya turun. Berbarengan dengan penurunan tekanan, kecepatan uap panas naik, hal ini berarti terjadi kenaikan energi kinetik uap panas. Setelah berekspansi, uap panas menyembur ke luar nosel dan menumbuk sudu-sudu impuls dengan kecepatan abolut Vs_1. Pada sudu-sudu impuls uap panas memberikan sebagian energinya ke sudusudu, dan mengakibatkan sudu-sudu bergerak dengan kecepatan V_b.

Tekanan pada sudu-sudu turbin adalah konstan atau tetap, sedangkan kecepatan uap ke luar sudu berkurang menjadi V_{s2}.

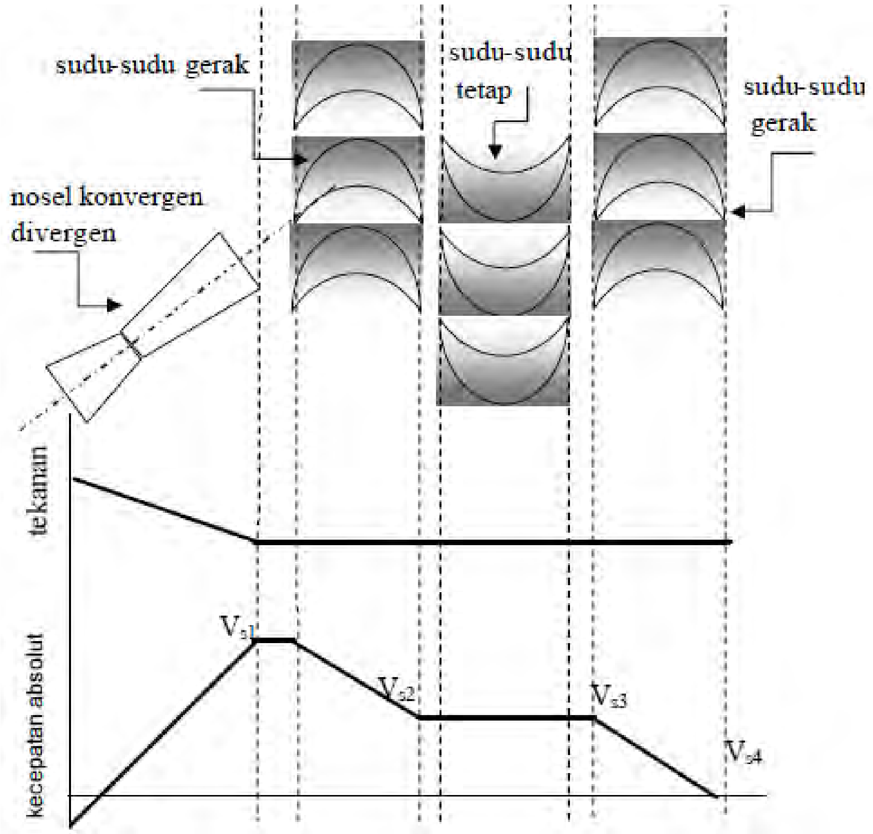
4.2 Turbin impuls gabungan

Turbin impuls satu tahap atau turbin De laval mempunyai kendalakendala teknis yang tidak menguntungkan. Sebagai contoh, kecepatan uap masuk sudu terlalu tinggi kalau hanya untuk satu baris sudu, efeknya kecepatan putar sudu menjadi tinggi, dan melampaui batas keselamatan yang diizinkan, karena tegangan sentrifugal yang harus ditahan material rotor. Disamping itu dengan kecepatan rotor yang tinggi diperlukan roda gigi reduksi yang besar dan berat untuk menghubungkan rotor dengan generator listrik. Dengan alasan-alasan tersebut, dikembangkan dua pilihan turbin impuls gabungan yaitu turbin gabungan kecepatan atau turbin Curtiss dan turbin impuls gabungan tekanan atau turbin Rateau.

4.3 Turbin impuls Curtiss

Turbin uap Curtiss adalah turbin yang bekerja dengan prinsip impuls secara bertahap. Berbeda dengan turbin satu tahap, turbin Curtiss mempunyai beberapa baris sudu bergerak dan baris sudu tetap. Pada gambar 2.94 adalah susunan turbin uap Curtiss, proses ekspansi uap panas pada nosel, dimana kecepatan uap panas naik (V_{s1}) dan tekanan turun.

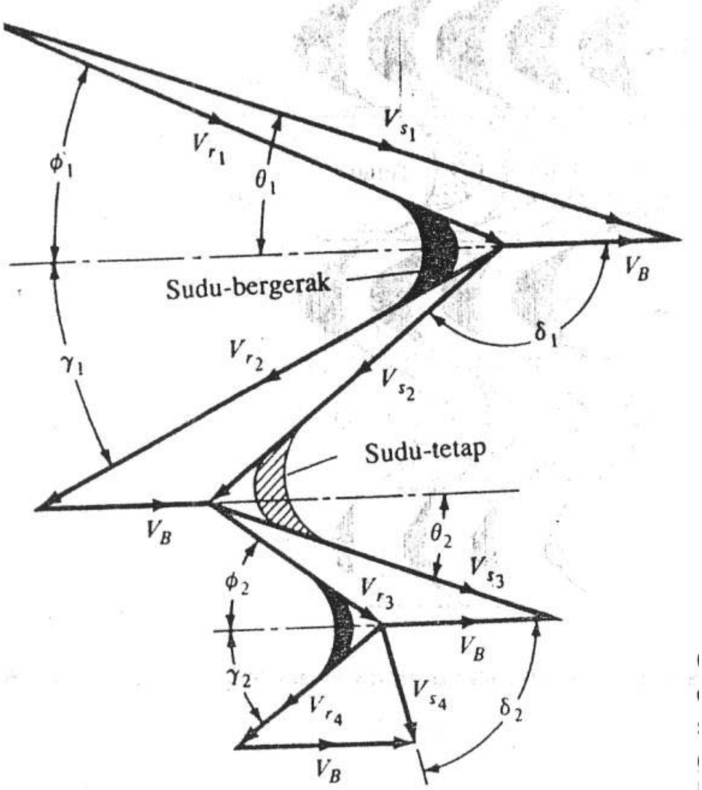
Uap panas yang mempunyai kecepatan tinggi masuk baris pertama sudu bergerak, pada tahap ini uap memberikan sebagian energinya sehingga kecepatannya turun (V_{s2}). Selanjutnya, sebelum masuk baris sudu bergerak tahap II, terlebih dahulu melewati sudu tetap. Pada sudusudu tetap yang berbentuk simetris, uap tidak kehilangan energinya, kecepatan (V_{s3}) dan tekanannya konstan. Uap dengan kecepatan V_{s3} setelah melewati sudu tetap masuk baris sudu bergerak tahap II, uap memberikan energinya yang tersisa ke sudu-sudu bergerak, karena itu kecepatannya turun kembali menjadi V_{s4}.



Gambar 2.94 Susunan turbin uap Curtiss

Pada turbin Curtiss penurunan uap terjadi dengan sempurna pada nosel sehingga tidak ada penurunan tekanan lagi pada sudu-sudu, dan energi kinetik dari nosel dipakai oleh dua baris sudu bergerak tidak hanya satu baris saja. Ciri khas dari turbin ini adalah kecepatan akan turun setelah melewati sudu bergerak, dan kecepatannya konstan pada sudu tetap. Untuk memahami lebih lanjut tentang perubahan nilai kecepatan, dapat menggunakan analisis segitiga kecepatan dari turbin Curtiss. Sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2.95.

$$\dot{W} = \dot{m}\left[\left(V_{s1}^2 - V_{s2}^2\right) - \left(V_{r1}^2 - V_{r2}^2\right)\right]$$



Gambar 2.95 Segitiga kecepatan turbin uap Curtiss

4.4 Turbin impuls Rateau

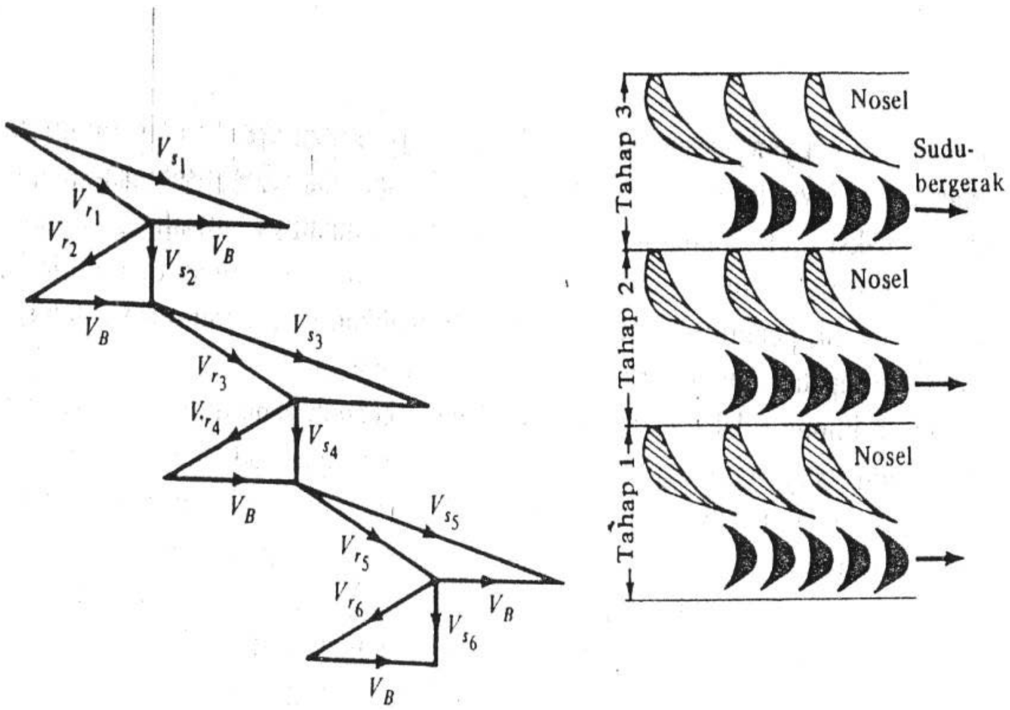
Pada turbin Curtiss yaitu turbin gabungan kecepatan yang sudah dibahas pada sub-bab di atas, masih mempunyai kelemahan yaitu kecepatan uapnya masih tinggi, sehingga timbul gesekan yang merupakan kerugian aliran. Kondisi ini sama dengan turbin impuls satu tahap. Untuk mengatasi hal tersebut, Rateau membuat turbin impuls gabungan tekanan. Pada turbin ini, turbin dibagi menjadi beberapa bagian dengan susunan seri, dimana setiap bagian terdiri dari nosel dan sudu bergerak, yaitu sama dengan susunan turbin satu tahap.

Gambar 2.96 adalah skema sederhana dari turbin Rateau. Dari gambar tersebut didapat susunan dasar turbin, yaitu terdiri dari dua bagian kombinasi nosel dan sudu bergerak. Dari diagram tekanan dan kecepatan absolut dapat dibahas sebagai berikut. Uap panas pertama masuk pada bagian pertama, kecepatan akan naik pada nosel dan kemudian turun pada sudu bergerak. Selanjutnya, uap panas masuk ke nosel bagian dua, kecepatan naik lagi pada nosel dan turun kembali

pada sudu bergerak. Pada setiap bagian, uap akan mengalami penurunan tekanan setelah dari nosel.

Jadi pada turbin Rateau, uap panas akan berekspansi setiap masuk nosel, dengan demikian energi uap akan terbagi merata. Jika dibandingkan dengan turbin satu tahap, pada turbin ini jumlah energi uap panas yang berekspansi per noselnya jauh lebih kecil, sehingga kenaikan kecepatan absolutnya tidak terlalu tinggi.

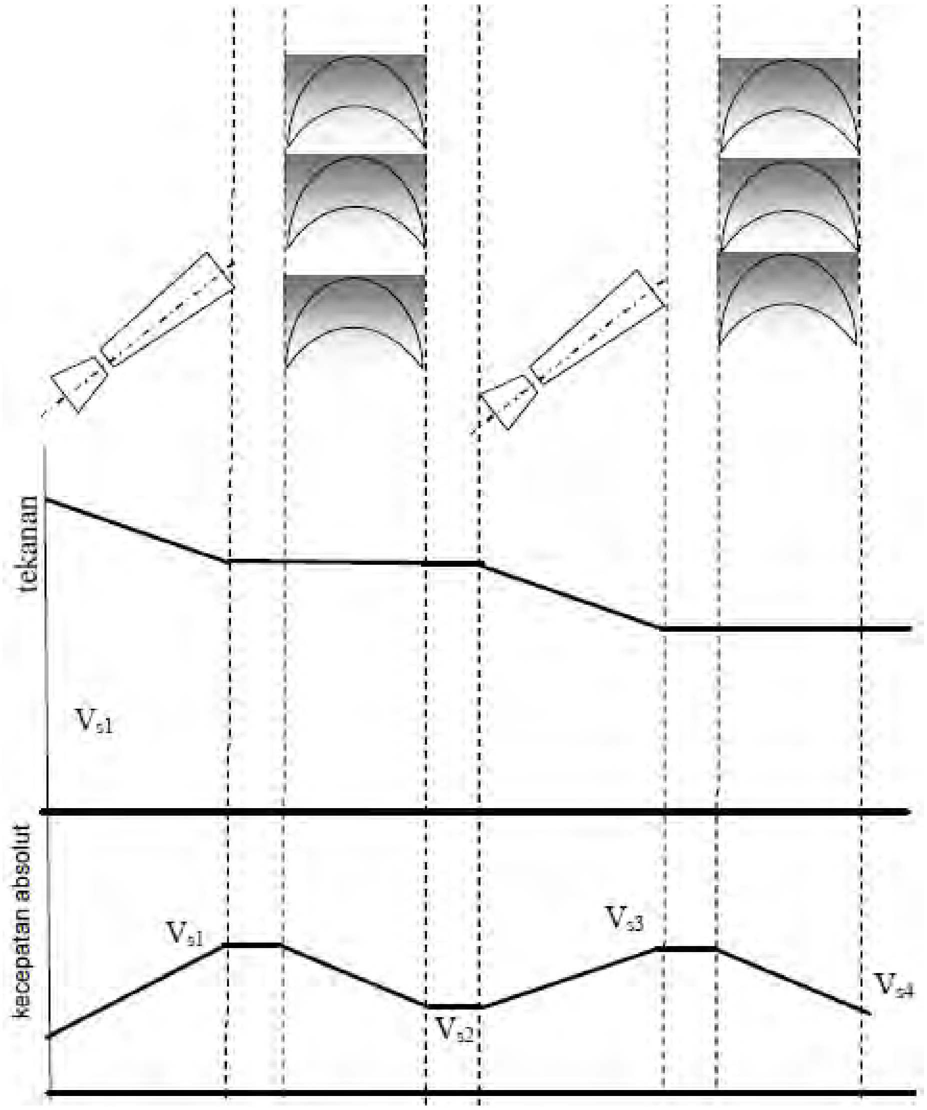
Turbin ini mempunyai keunggulan yaitu kecepatan sudunya rendah, kecepatan uap rendah (gesekan kecil), dan distribusi kerja per bagian merata. Kelemahannya adalah penurunan tekanan yang terus menerus pada setiap bagian, sehingga resiko kebocoran uap lebih besar. Untuk memperoleh efisiensi tinggi, turbin Rateau juga harus mempunyai tahapan yang banyak. Dengan alasan-alasan tersebut, turbin Rateau banyak dipakai untuk unit yang besar, dimana efisiensi lebih penting daripada biaya investasi.



Gambar 2.96 Segitiga kecepatan turbin uap Rateau

Pada gambar adalah contoh segitiga kecepatan dari turbin Rateau. Berdasarkan segitiga tersebut terlihat bahwa bentuk dari segitiga adalah sama untuk setiap tahap, dimana bentuknya adalah segitiga kecepatan turbin satu tahap yang disusun seri. Kecepatan Vs1 dari sudu tetap yang berfungsi nosel, akan masuk ke sudu bergerak dan nilainya turun menjadi Vs2, demikian juga untuk

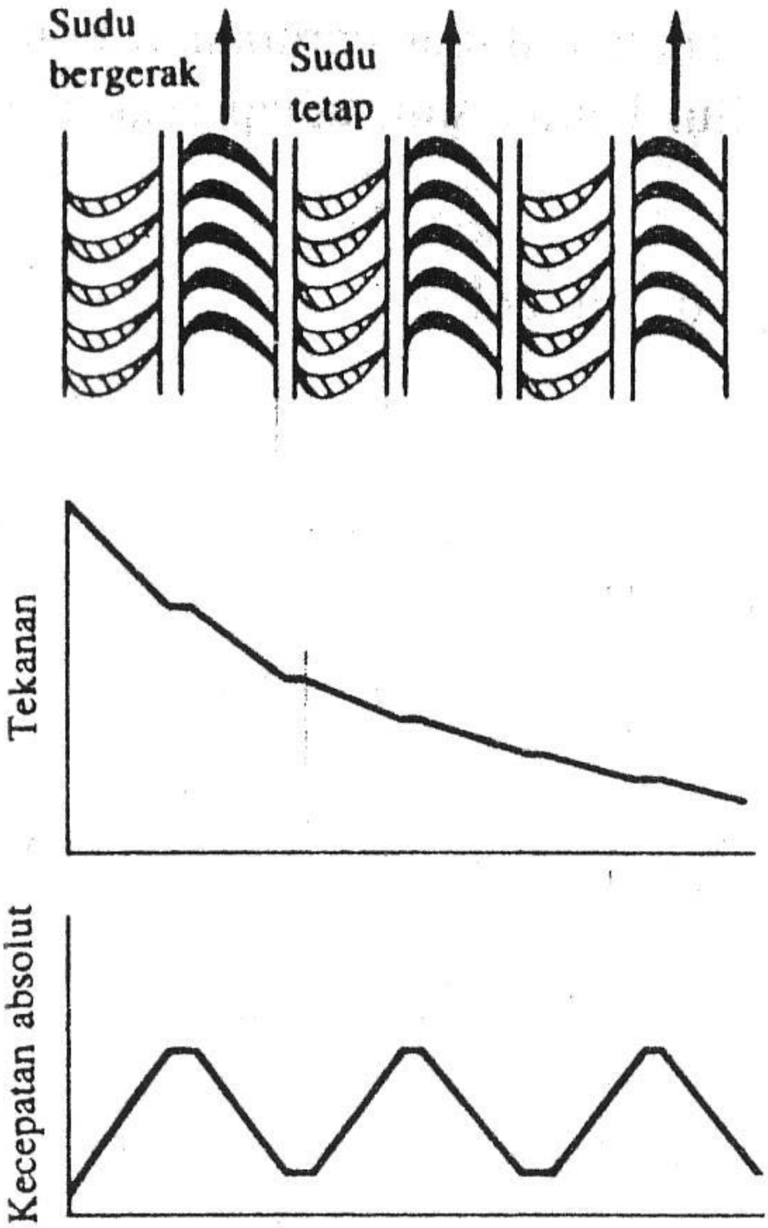
kecepatan relatifnya juga turun. Kemudian, kecepatan Vs2 naik lagi setelah melewati sudu bergerak menjadi Vs3, dimana nilai kecepatan ini secara ideal adalah sama dengan Vs1, dan prosesnya berlanjut sampai tahap terakhir turbin.



Gambar 2.97 Susunan turbin uap Rateau

5. Turbin Reaksi

Turbin reaksi pertama kali dikenalkan oleh Parson. Gambar 2.98 adalah contoh turbin reaksi tiga tahap, terdiri dari 3 baris sudu tetap dan 3 baris sudu bergerak. Sudu tetap dibuat sedemikian rupa sehingga fungsinya sama dengan nosel. Sedangkan sudu bergerak dapat dibedakan dengan jelas dengan sudu impuls karena tidak simetris. Sudu bergerak pun difungsikan sebagai nosel, karena fungsinya yang sama dengan sudu tetap, maka bentuknya sama dengan sudu tetap, tetapi arah lengkungannya berlawanan.

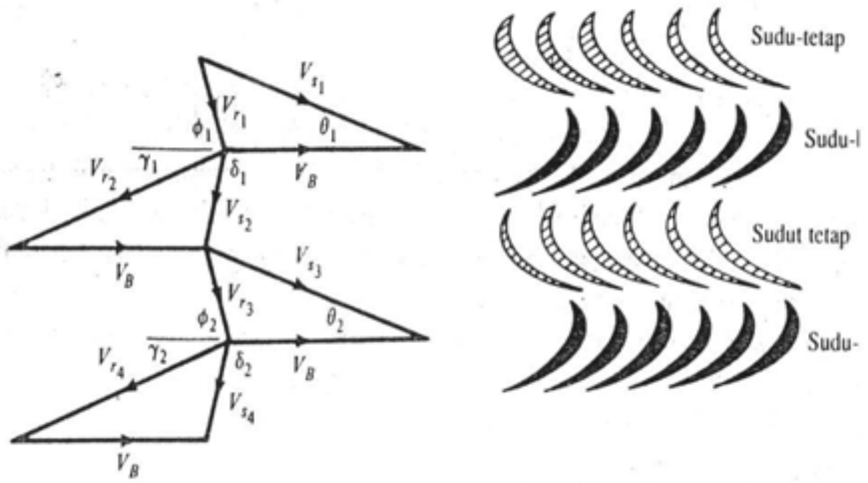


Gambar 2.98 Susunan turbin uap Rateau

Penurunan tekanan adalah sinambung dari tahap satu ke tahap berikutnya, dari sudu tetap dan sudu bergerak. Kecepatan absolutnya setiap melewati sudu tetap akan naik dan setelah melewati sudu bergerak akan turun, selanjutnya akan berulang sampai akhir tahap.

Pada gambar 2.99 adalah contoh segitiga kecepatan dari turbin rekasi dua tahap. Dari gambar segitiga kecepatan tersebut menunjukkan bentuk segitiga kecepatan untuk sudu tetap akan sama, demikian juga untuk sudu gerak. Kecepatan V_{s1} dari sudu tetap akan turun nilainya setelah melwati sudu bergerak menjadi

V_{s2},akan tetapi kecepatan relatinya menjadi besar yaitu V_{r2}. Selanjutnya, V_{s2} dinaikan lagi nilainya setelah masuk ke sudu tetap, menjadi V_{s3} yang sama dengan V_{s1}, dan seterusnya sampai tahap akhir turbin.



Gambar 2.99 Susunan turbin uap Rateau

Daya yang dihasilkan turbin rekasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{W} = \dot{m}\left[\left(V_{s1}^2 - V_{s2}^2\right) - \left(V_{r1}^2 - V_{r2}^2\right)\right]$$

dan daya optimum tercapai pada kecepatan sudu optimum yaitu:

$$\dot{W} = \dot{m} V_{b\ optimum}^2$$

c. Rangkuman

1. Definisi turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik kemudian energi kinetik tersebut diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Poros turbin dihubungkan dengan yang digerakan, yaitu generator atau peralatan mesin lainnya, menggunakan mekanisme transmisi roda gigi. Turbin adalah mesin rotari yang bekerja karena terjadi perubahan energi kinetik uap menjadi putaran poros turbin. Proses perubahan itu terjadi pada sudu-sudu turbin.
2. Pada turbin, proses perubahan energi mulai terjadi di nosel, yaitu ekspansi fluida gas pada nosel. Pada proses ekspansi di nosel, energi fluida mengalami penurunan, demikian juga tekanannya. Berbarengan

3. dengan penurunan energi dan tekanan, kecepatan fluida gas naik, dengan kata lain energi kinetik fluida gas naik karena proses ekspansi. Kemudian, fluida gas dengan energi kinetik tinggi menumbuk sudu turbin dan memberikan sebagian energinya ke sudu, sehingga sudu pun begerak. Perubahan energi dengan tumbukan fluida di sudu adalah azas impuls.
4. Perubahan energi dengan azas reaksi, sudu turbin reaksi berfungsi seperti nosel. Pada sudu turbin reaksi terjadi proses ekspansi, yaitu penurunan tekanan fluida gas dengan dibarengi kenaikan kecepatan. Karena prinsip reaksi adalah gerakan melawan aksi, jadi dapat dipahami dengan kenaikan kecepatan fluida gas pada sudu turbin reaksi, sudu turbin pun akan bergerak sebesar nilai kecepatan tersebut dengan arah yang berlawanan.
5. Bentuk dari sudu tetap turbin impuls ada dua macam yaitu bentuk simetris dan bentuk tidak simetris. Pada bentuk sudu tetap simetris, profil kecepatan dan tekanan adalah sama, tidak ada perubahan kecepatan dan tekanan. Sedangkan pada sudu tetap yang berfungsi sebagi nosel mempunyai bentuk seperti nosel yaitu antar penampang sudu membetuk penampang yang menyempit pada ujungnya. Bentuk pertama simetrisi dipakai pada turbin uap Curtis dan bentuk yang kedua dipakai turbin uap Rateau.
6. Turbin De laval atau turbin impuls satu tahap. Turbin terdiri satu atau lebih nosel konvergen divergen dan sudu-sudu impuls terpasang pada roda jalan (rotor). Tidak semua nosel terkena semburan uap panas dari nosel, hanya sebagian saja. Pengontrolan putaran dengan jalan menutup satu atau lebih nosel konvergen divergen.
7. Pada Turbin reaksi sudu tetap dibuat sedemikian rupa sehingga fungsinya sama dengan nosel. Sedangkan sudu bergerak dapat dibedakan dengan jelas dengan sudu impuls karena tidak simetris. Sudu bergerak pun difungsikan sebagai nosel, karena fungsinya yang sama dengan sudu tetap, maka bentuknya sama dengan sudu tetap, tetapi arah lengkungannya berlawanan.

d. Tugas

Soal

1. Jelaskan prinsip dari kerja turbin dan bagaimana urutan konversi energinya. . ?
2. Sebutkan macam-macan turbin yang anda ketahui selain turbin uap !
3. Jelaskan kerja turbin impuls dan reaksi !
4. Apa perbedaan antara turbin De laval, Curtis dan Rateau. ?
5. Jelaskan perbedaan dan persamaan Turbin Impuls dan Reaksi . . ?
6. Jelaskan apa yang dimaksud dengan Segitiga Kecepatan pada turbin . . .?
7. Jelaskan perbedaan macam-macam turbin Impuls . . ?

5. Kegiatan belajar 5 : Turbin Gas

a. Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari secara keseluruhan materi kegiatan belajar dalam modul ini peserta diklat diharapkan mampu :

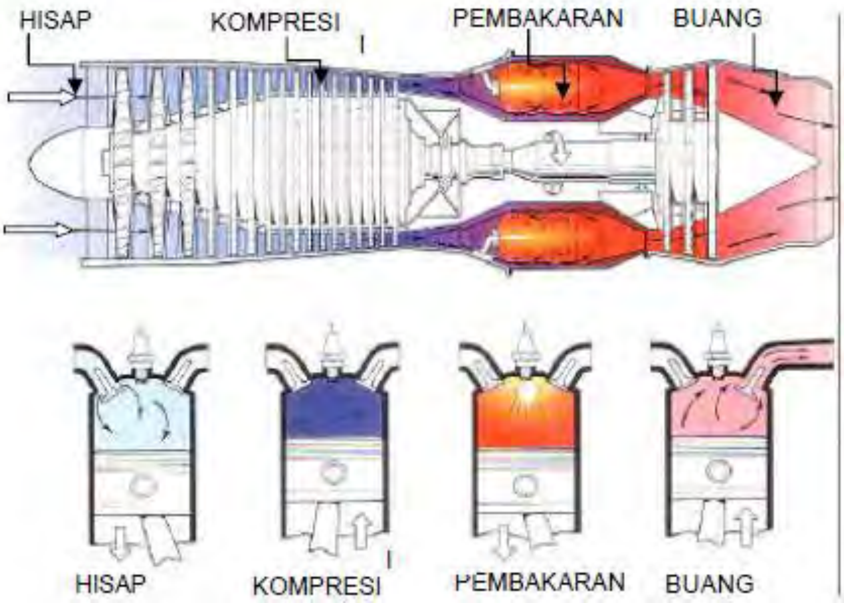
1) Menjelaskan prinsip kerja turbin gas dengan benar
2) Menjelaskan persamaan dan perbedaan turbin gas dengan motor bakar dengan benar
3) Menjelaskan keunggulan turbin dari mesin konversi energi lainnya dengan benar
4) Menjelaskan macam-macam turbin gas dengan benar
5) Menjelaskan komponen-komponen utama turbin gas dengan benar

b. Uraian materi :

1. Turbin Gas

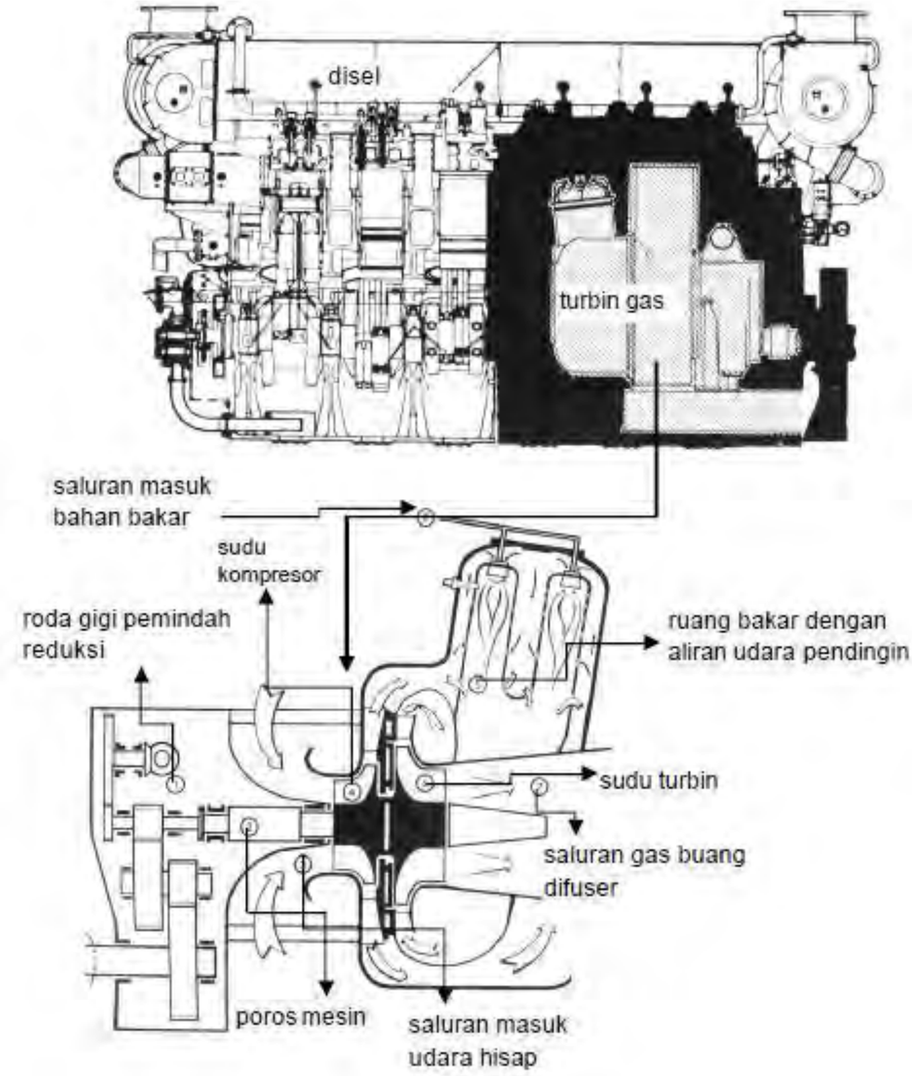
Turbin gas adalah sebuah mesin panas pembakaran dalam, proses kerjanya seperti motor bakar [gambar 16.1] yaitu udara atmosfer dihisap masuk kompresor dan dikompresi, kemudian udara mampat masuk ruang bakar dan dipakai untuk proses pembakaran, sehingga diperoleh suatu energi panas yang besar. Energi panas tersebut diekspansikan pada turbin dan menghasilkan energi mekanik pada poros. Sisa gas pembakaran yang ke luar turbin menjadi energi dorong (turbin gas pesawat terbang). Jadi jelas bahwa turbin gas adalah mesin yang dapat mengubah energi panas menjadi energi mekanik atau dorong.

Persamaan turbin gas dengan motor bakar adalah pada proses pembakarannya yang terjadi di dalam mesin itu sendiri. Disamping itu proses kerjanya adalah sama yaitu: hisap, kompresi, pembakaran, ekspansi dan buang. Perbedaannya adalah terletak pada konstruksinya. Motor bakar kebanyakan bekerja gerak bolak-balik (*reciprocating*) sedangkan turbin gas adalah mesin rotasi, proses kerja motor bakar bertahap (*intermiten*), untuk turbin gas adalah kontinyu dan gas buang pada motor bakar tidak pernah dipakai untuk gaya dorong.



Gambar 2.100 Mesin pembakaran dalam (turbin gas dan motor bakar)

Turbin gas bekerja secara kontinyu tidak betahap, semua proses yaitu hisap, kompresi, pembakaran dan buang adalah berlangsung bersamaan. Pada motor bakar yang prosesnya bertahap yaitu yang dinamakan langkah, yaitu langkah hisap, kompresi, pembakaran, ekspansi dan langkah buang. Antara langkah satu dan lainnya saling bergantung dan bekerja bergantian. Pada proses ekspansi turbin gas, terjadi perubahan energi dari energi panas mejadi energi mekanik putaran poros turbin, sedangkan pada motor bakar pada langkah ekspansi terjadi perubahan dari energi panas menjadi energi mekanik gerak bolak-balik torak. Dengan kondisi tersebut, turbin gas bekerja lebih halus dan tidak banyak getaran.



Gambar 2.101Perbandingan turbin gas dan mesin disel

Turbin gas banyak digunakan untuk mesin propulsi atau jet [gambar 16.1], mesin otomotif, tenaga pembangkit listrik [gambar 16.2], atau penggerak peralatan-peralatan industri seperti penggerak kompresor atau pompa. Daya yang dihasilkan turbin gas mulai dari 250.000 HP untuk pembangkit listrik sampai 5 HP pada *turbocharger* pada mesin motor.

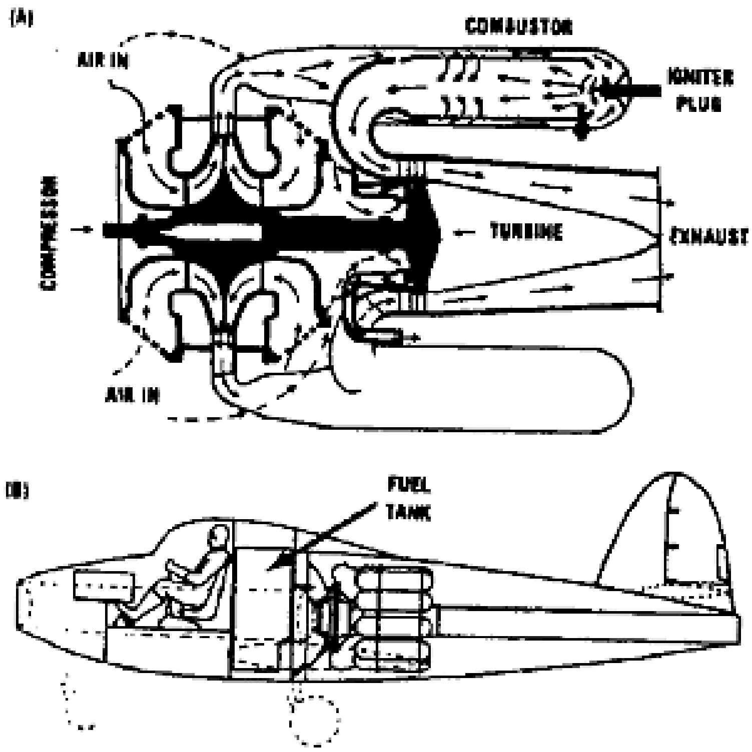
Keunggulan dari turbin gas adalah mesinnya yang ringan dan ukuran yang kecil namun dapat menghasilkan daya yang besar. Sebagai contoh pada gambar 2.101adalah turbin gas yang biasa dipakai untuk penggerak generator lisitrik kecil. Generator ini banyak dipakai untuk mengantisipasi beban puncak jaringan, sehingga fungsinya dapat menggantikan kalau terjadi pemadaman listrik. Gedung-gedung perkantoran, rumah sakit, universitas, perusahaan dan lainnya, banyak yang menggunakan generator jenis ini. Dibandingkan dengan

penggunaan generator penggerak disel, dengan penggerak turbin gas ukurannya menjadi lebih kecil, sehingga dapat menghemat tempat dan mudah dipindahkan. Pesawat terbang memerlukan mesin dengan persyaratan yang spesifik yaitu mesin dengan daya besar untuk daya dorong, tetapi ringan dan dari segi ukuran harus kecil. Dengan alasan tersebut, penggunaan turbin gas pada pesawat terbang menjadi pilihan yang tepat, dan tidak dapat digantikan jenis mesin lain. Pada industri dan pembangkitan listrik turbin gas sangat menguntungkan karena mesin mudah diinstal, operasinya tidak ruwet, dan tidak memerlukan ruangan yang besar.

2. Sejarah Perkembangan

Pengembangan turbin gas sebagai salah satu mesin penggerak sudah menghabiskan waktu yang lama sekali. Dimulai abad ke-19 Charles Curtis mengajukan paten untuk turbin gas yaitu pada tanggal 24 Juni 1985. Kemudian pada tahun 1903 Aegedius Elling berhasil membuat mesin turbin gas dengan daya 11 HP. Pada tahun 1939 perusahaan Swiss, Brown Boverei Company berhasil membuat turbin gas untuk pembangkit tenaga dengan daya 4.000 kW. Untuk industri pesawat terbang mulai dikembangkan pada tahun 1930-an. Hans von Ohains (Jerman) berhasil menjalankan turbin gasnya pada bulan maret 1937.Frank Whittles pada april 1937 juga berhasil menjalankan mesin turbin gasnya.

Pesawat terbang pertama yang terbang dengan mesin turbin gas adalah mesin jet Jerman pada 27 agustus 1939, sedangkan Inggris tahun 1941. Penggunaan turbin gas untuk lokomotif pertama kali tahun 1941 di Swiss, dan untuk mesin mobil tahun 1950 di Inggris. Pengembangan terus dilanjutkan sampai ke era modern, mesin-mesin jet tempur canggih sudah berhasil diciptakan. Efisiensi juga terus diperbaiki sehingga turbin gas masa kini menjadi salah satu pilihan utama sebagai mesin penggerak.



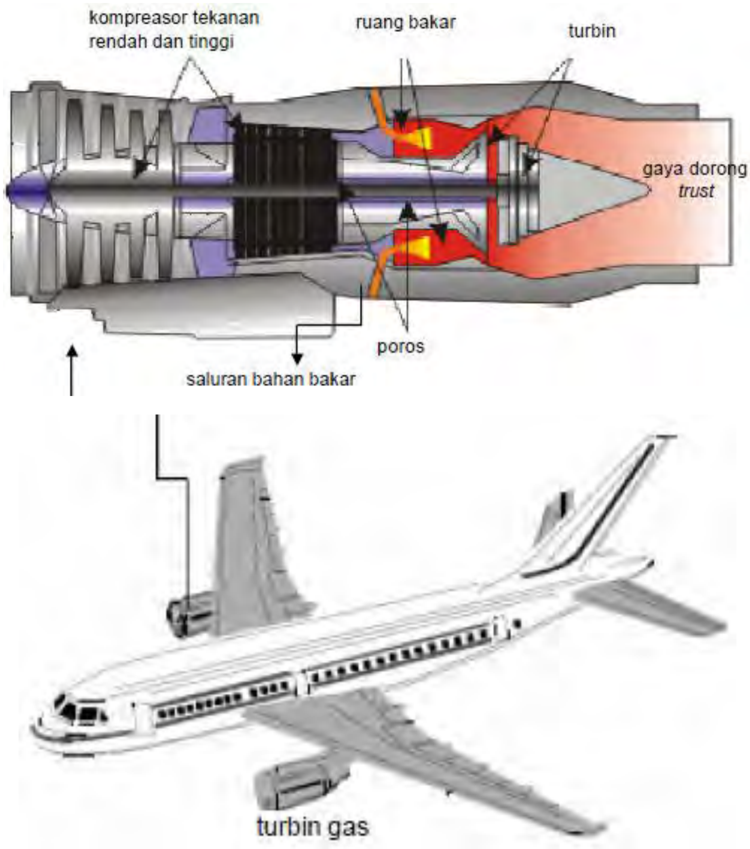
Gambar 2.102 Pesawat terbang pendahulu dengan turbin gas



Gambar 2.103 Perkembangan turbin gas menjadi mesin modern

3. Dasar Kerja Turbin Gas

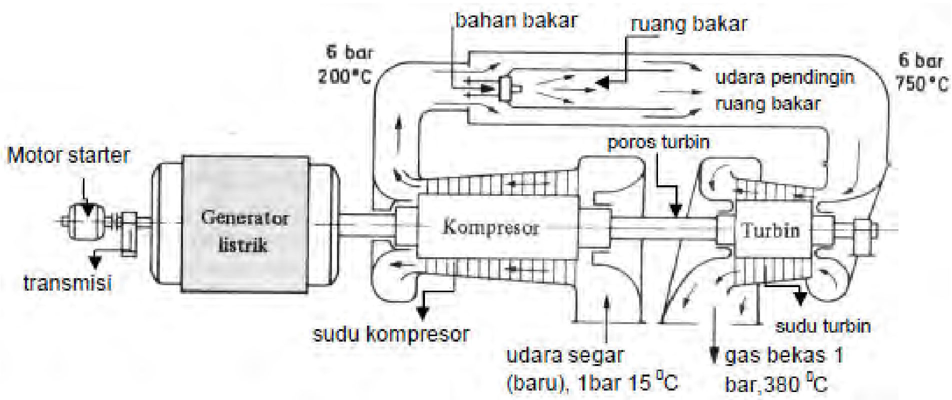
Pada gambar 16.5 adalah salah satu mesin turbin gas pesawat terbang, adapun cara kerjanya adalah sebagai berikut. Motor starter dinyalakan, kompresor berputar dan mulai bekerja menghisap udara sekitar, udara kemudian dimampatkan. Udara pada tahap pertama dimampatkan dahulu pada kompresor tekanan rendah, diteruskan kompresor tekanan tinggi. Udara mampat selanjutnya masuk ruang bakar, bercampur dengan bahan bakar yang sudah disemprotkan. Campuran bahan bakar-udara mampat kemudian dinyalakan dan terjadi proses pembakaran. Gas hasil proses pembakaran berekspansi pada turbin, terjadi perubahan dari energi panas menjadi energi putaran poros turbin, sebagian gas pembakaran menjadi gaya dorong. Setelah memberikan sisa gaya dorongnya, gas hasil pembakaran ke luar melalui saluran buang. Dari proses kerja turbin gas pesawat terbang tersebut, dihasilkan daya turbin yang digunakan untuk menggerakan kompresor, menghasikan daya dorong, dan menggerakan peralatan bantu lainnya.

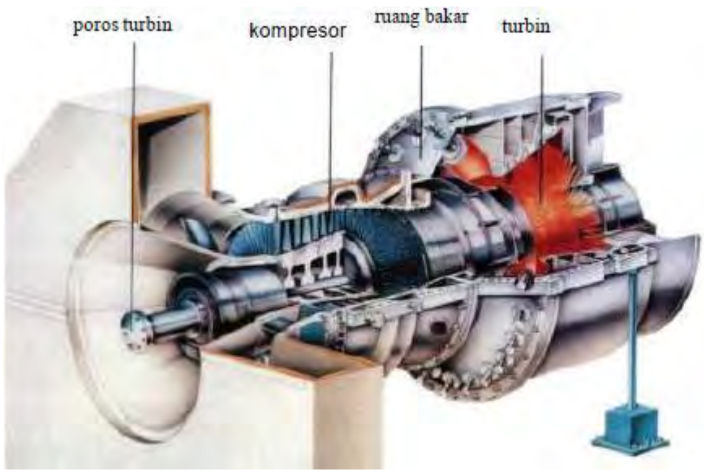


Gambar 2.104 Turbin gas pesawat terbang

Terlihat pada gambar disamping turbin gas dipasang pada sayap pesawat terbang untuk menghasilkan daya dorong. Turbin gas harus ringan, daya besar dan tingkat keberhasilan selama beroperasi harus 100%.

Turbin gas yang dipakai industri dapat dilihat pada gambar 2.87 dan cara kerjanya sama dengan turbin gas pesawat terbang. Motor starter dinyalakan untuk memutar kompresor, udara segar terhisap masuk dan dimampatkan. Kemudian udara mampat dengan temperatur dan tekanan yang cukup tinggi (2000C, 6 bar) mengalir masuk ruang bakar bercampur dengan bahan bakar. Campuran udara mampat bahan-bakar kemudian dinyalakan dan terjadi proses pembakaran, temperatur gas pembakaran naik drastis. Gas pembakaran dengan temperatur tinggi (6 bar, 7500C) berekspansi pada turbin, sehingga terjadi perubahan energi, dari energi panas menjadi energi putaran poros turbin. Gas pembakaran setelah berekspansi di turbin, lalu ke luar sebagai gas bekas. Selanjutnya, turbin gas bekerja dengan putaran poros turbin, yaitu sebagai sumber tenaga penggerak kompresor dan generator listrik.





Gambar 2.105 Turbin gas untuk industri (pembangkit listrik)

Dari uraian cara kerja turbin gas di atas, dapat disebutkan komponen-komponen mesin turbin gas yang penting, yaitu kompresor, ruang bakar, dan turbin. Jadi, daya yang dihasilkan turbin tidak hanya menggerakan beban, yaitu generator listrik, tetapi juga harus menggerakan kompresor.

4. Bahan Bakar Turbin Gas

Bahan bakar untuk turbin gas harus memenuhi persyaratan tertentu sebelum digunakan pada proses pembakaran. Persyaratan tersebut yaitu bahan bakar mempunyai kadar abu yang tidak tinggi. Dengan alasan, bahan bakar yang mempunyai kadar abu yang tinggi, pada proses pembakaran dihasilkan gas pembakaran yang mengandung banyak partikel abu yang keras dan korosif. Gas pembakaran dengan karakteristik tersebut, akan mengenai dan merusak sudu-sudu turbin pada waktu proses ekspansi pada temperatur tinggi.

Dengan persyaratan tersebut di atas, bahan bakar yang memenuhi persyaratan adalah bahan bakar cair dan gas. Bahan bakar cair dan gas cenderung mempunyai kadar abu yang rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar padat, sehingga lebih aman digunakan sebagai bahan bakar turbin gas.

Bahan bakar yang digunakan turbin gas pesawat terbang, persyaratan yang haus dipenui adalah lebih ketat, hal ini karena menyangkut faktor keamanan dan keberhasilan selama turbin gas beroperasi. Adapun persyaratannya adalah :

Nilai kalor per satuan berat dari bahan bakar harus tinggi. Dengan jumlah bahan bakar yang sedikit dan ringan dengan tetapi nilai kalornya tinggi sangat menguntungkan karena mengurangi berat pesawat terbang secara keseluruhan.

Kemampuan menguap *(volatility)* dari bahan bakar tidak terlalu tinggi, oleh karena pada harga *volatility* yang tinggi bahan bakar akan mudah sekali menguap, terutama pada ketinggian tertentu. Hal ini akan membahayakan karena bahan bakar menjadi mudah terbakar. Disamping itu, saluran bahan bakar mudah tersumbat karena uap bahan bakar.

Kemurnian dan kestabilan bahan bakar harus terjamin, yaitu bahan bakar tidak mudah mengendap, tidak banyak mengandung zat-zat seperti air, debu, dan belerang. Kandungan zat zat tersebut apabila terlalu banyak akan sangat

membahayakan pada proses pembakaran. Khusus untuk belerang, zat ini akan korosif sekali pada material sudu turbin.

Flash point dan titik nyala tidak terlalu rendah, sehingga penyimpanan lebih aman.

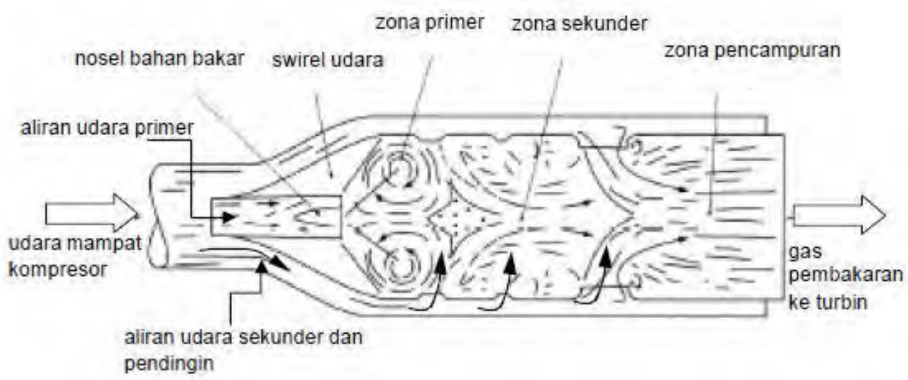
Gradenya harus tinggi, bahan bakar harus mempunyai kualitas yang bagus, tidak banyak mengandung unsur-unsur yang merugikan seperti *dyes* dan *tretaetyl lead*

Dengan karakteristik bahan bakar untuk turbin gas pesawat terbang seperti yang disebutkan di atas, terlihat bahwa bahan bakar tersebut adalah bermutu tinggi, untuk menjamin faktor keamanan yang tinggi pada operasi turbin gas selama penerbangan. Kegagalan operasi berakibat sangat fatal yaitu turbin gas mati, pesawat terbang kehilangan gaya dorong, kondisi ini dapat dipastikan pesawat terbang akan jatuh.

Bahan bakar pesawat yang biasa digunakan adalah dari jenis gasolin dan kerosen atau campuran keduanya, tentunya sudah dimurnikan dari unsur-unsur yang merugikan. Sebagai contoh, standar yang dikeluarkan *American Society for Tinting Material Spesification* (ASTM) seri D-1655, yaitu Jet A, Jet A1, Jet B. Notasi A, A, dan B membedakan titik bekunya.

5. Proses pembakaran

Pada gambar 2.106, dapat dilihat dari konstruksi komponen ruang bakar, apabila digambarkan ulang dengan proses pembakaran adalah sebagai berikut:



Gambar 2.106 Ruang bakar dan proses pembakaran turbin gas

Proses pembakaran dari turbin gas adalah mirip dengan pembakaran mesin diesel, yaitu proses pembakarannya pada tekanan konstan. Prosesnya adalah

sebagai berikut, udara mampat dari kompresor masuk ruang bakar, udara terbagi menjadi dua, yaitu udara primer yang masuk saluran primer, berada satu tempat dengan nosel, dan udara mampat sekunder yang lewat selubung luar ruang bakar. Udara primer masuk ruang bakar melewati swirler, sehingga alirannya berputar. Bahan bakar kemudian disemprotkan dari nosel ke zona primer, setelah keduanya bertemu, terjadi pencampuran. Aliran udara primer yang berputar akan membantu proses pencampuran, hal ini menyebabkan campuran lebih homogen, pembakaran lebih sempurna.

Udara sekunder yang masuk melalui lubang-lubang pada selubung luar ruang bakar akan membantu proses pembakaran pada zona sekunder. Jadi, zona sekunder akan menyempurnakan pembakaran dari zona primer. Disamping untuk membantu proses pembakaran pada zona sekunder, udara sekunder juga membantu pendinginan ruang bakar. Ruang bakar harus didinginkan, karena dari proses pembakaran dihasilkan temperatur yang tinggi yang merusak material ruang bakar. Maka, dengan cara pendinginan udara sekunder, temperatur ruang bakar menjadi terkontrol dan tidak melebihi dari yang diijinkan.

Pada gambar 2.106 di atas, terlihat zona terakhir adalah zona pencampuran (*dillute zone*), adalah zona pencampuran gas pembakaran bertemperatur tinggi dengan sebagian udara sekunder. Fungsi udara pada sekunder pada zona itu adalah mendinginkan gas pembakaran yang bertemperatur tinggi menjadi temperatur yang aman apabila mengenai sudu-sudu turbin ketika gas pembakaran berekspansi. Disamping itu, udara sekunder juga akan menambah massa dari gas pembakaran sebelum masuk turbin, dengan massa yang lebih besar energi potensial gas pembakaran juga bertambah. Apabila $W_{kinetik}$ adalah energi kinetik gas pemabakaran dengan kecepatan V, massa sebelum ditambah udara sekunder adalah m_1 maka energi kinetiknya adalah sebagai berikut:

$$W_{kinetik,1} = \frac{m_1 x V^2}{2}$$

dengan penambahan massa dari udara sekunder m_2, maka energi kinetik menjadi:

$$W_{kinetik,2} = \frac{(m_1 + m_2) x V^2}{2}$$

jadi dapat dilihat $W_{kinetik,2}$ (dengan udara sekunder) lebih besar dari $W_{kinetik,1}$ (tanpa udara sekunder).

Dari uraian di atas, terlihat proses pembakaran pada turbin gas memerlukan udara yang berlebih, biasanya sampai 30% dari kondisi normal untuk proses pembakaran dengan jumlah bahan bakar tertentu. Kondisi ini akan berkebalikan, apabila udara pembakaran terlalu berlimpah (lebih 30%), udara justru akan mendinginkan proses pembakaran dan mati, karena panas banyak terbuang ke luar melalui gas bekas yang bercampur udara dingin sekunder. Dengan pemikiran yang sama, apabila jumlah udara kurang dari normal, yaitu terjadi *overheating*, material ruang bakar dan sudu-sudu turbin bekerja melampaui kekuatannya dan ruang bakar dapat pecah, hal ini berarti turbin gas berhenti bekerja atau proses pembakaran terhenti.

6. Klasifikasi Turbin Gas

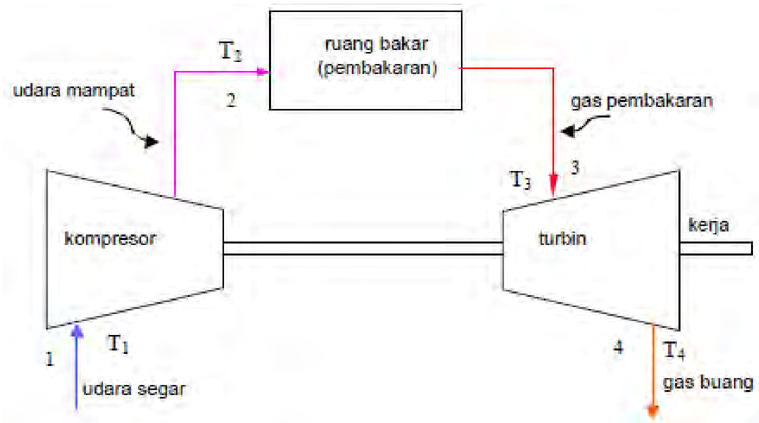
Ada banyak tipe turbin gas, tetapi dengan prinsip kerja yang sama, yaitu mengikuti siklus Bryton. Siklus tersebut adalah siklus dasar yang menjadi patokan dalam perancangan turbin gas . Secara teoritis kelihatan tidak ada kesulitan, tetapi pada kenyataannya, pembuatan turbin gas menemui banyak kesukaran, terutama yang berhubungan dengan efisiensi pemakaian bahan bakar dan ketersedian material yang bekerja pada temperatur tinggi. Dengan berbagai alasan dan tujuan, banyak tipe turbin gas yang dikembangkan. Adapun beberapa alasan tersebut adalah :

Pemakaian bahan bakar harus lebih bervariasi tidak hanya untuk bahan bakar cair dan gas saja atau untuk mencegah singgungan fluida kerja dengan lingkungan, khususnya untuk bahan bakar nuklir. Untuk keperluan tersebut, dibuat turbin gas terbuka dan tertutup atau turbin gas langsung dan tidak langsung

Pemakaian turbin gas yang semakin meluas, disamping sebagai pembangkit daya dorong dan pembangkit listrik, turbin gas sekarang banyak digunakan untuk pengerak mula, contohnya penggerak pompa dan kompresor pada industri-industri atau pusat pembangkit tenaga (*power plant*). Untuk keperluan tersebu, dibuat turbin gas dengan model satu poros dan dua poros

7.1 Turbin Gas Sistem Terbuka (langsung dan tidak langsung)

Pada sistem turbin gas terbuka langsung [gambar 17.2], fluida kerja akan ke luar masuk sistem yaitu udara lingkungan masuk kompresor dan gas bekas ke luar turbin ke lingkungan.



Gambar 2.107 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka langsung

Ruang bakar menjadi satu dengan sistem turbin gas dan bahan bakar yang digunakan terbatas yaitu hanya bahan bakar cair dan gas. Bahan bakar tersebut sebelum digunakan sudah dimurnikan, sehingga tidak mengandung unsur unsur yang merugikan.

Permasalahan turbin gas sistem terbuka terfokus pada proses pendinginan ruang bakar dan sudu-sudu turbin. Disamping itu, karena gas pembakaran langsung besinggungan dengan material turbin, permasalahan korosi dan abarasi pada sudu turbin, menjadi sangat penting, jika hal ini diabaikan akan berakibat fatal dan sangat merugikan, yaitu sudu-sudu turbin dapat bengkok atau patah. Kalau hal tersebut terjadi, daya turbin menurun, dan secara keseluruah efisien kerja menjadi rendah.

Turbin gas sistem terbuka banyak dipakai untuk mesin pesawat terbang, karena bentuknya lebih simpel, ringan dan tidak banyak memakan tempat, hal ini cocok dengan pesyaratan turbin gas untuk pesawat terbang.

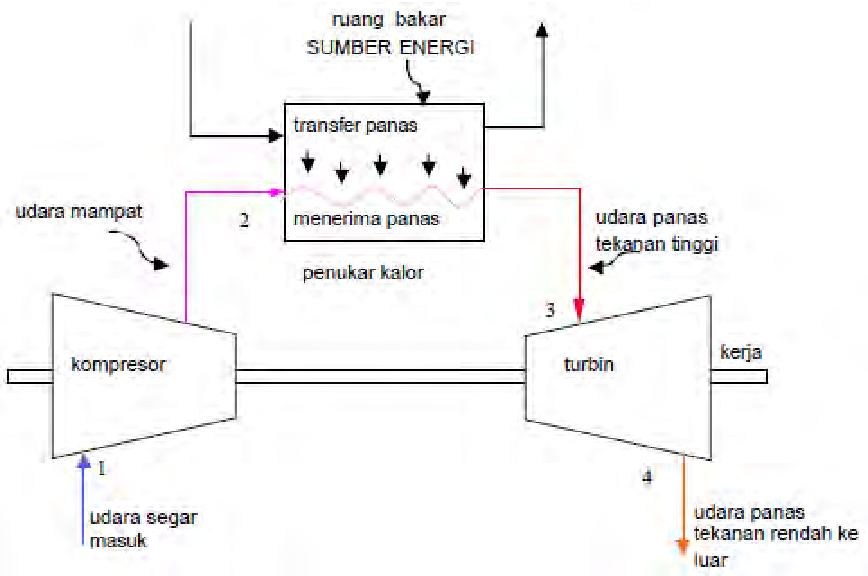
Bahan bakar padat tidak disarankan untuk digunakan pada sistem turbin gas terbuka langsung, karena hasil pembakaran banyak mengandung partikel yang bersifat korosi terhadap material turbin, yang dapat merusak sudu turbin. Kendala tersebut dapat di atasi dengan memisahkan ruang bakar dengan saluran

fluida kerja, dengan kata lain, fluida kerja masuk turbin dikondisikan tidak mengandung gas hasil pembakaran. Untuk keperluan tersebut, dibuat turbin gas sistem terbuka tak langsung. Dengan sistem ini, proses pembakaran berlangsung sendiri di dalam ruang bakar yang terpisah dengan saluran fluida kerja yang akan masuk turbin. Energi panas dari porses pembakaran akan ditransfer ke fluida kerja secara langsung atau menggunakan alat penukar kalor.

Model transfer energi panas dari ruang bakar ke fluida kerja secara lansung adalah sebagai berikut. Pipa pipa yang berisi fluida kerja udara mampat dari kompresor dilewatkan ke ruang bakar atau dapur. Panas dari proses pembakaran ditransfer secara langsung ke fluida kerja di dalam pipa pipa, temperatur fluida akan naik sampai nilai tertentu sebelum masuk turbin.

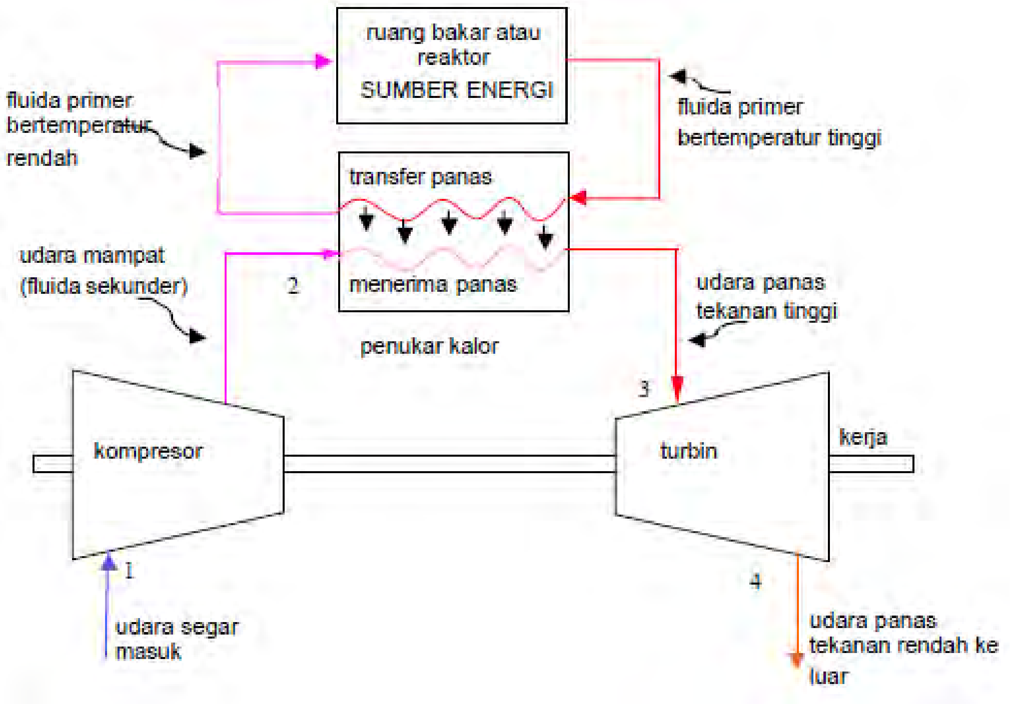
Untuk model transfer panas dengan penukar kalor, banyak diaplikasikan pada turbin gas berbahan bakar nuklir. Ruang bakar berbahan bakar nuklir sering disebut dengan reaktor. Di dalam reaktor nuklir terjadi reaksi fusi yang menghasilkan panas yang tinggi, panas yang tinggi tersebut ditransfer ke fluida yang sekaligus berfungsi sebagai pendingin reaktor, fluida tersebut sering diistilahkan sebagai fluida primer. Kemudian, fluida primer bersuhu tinggi dialirkan ke alat penukar kalor. Di dalam alat penukar kalor terdapat pipa-pipa berisi fluida kerja bersuhu rendah, untuk fluida ini sering disebut sebagai fluida sekunder. Dengan kondisi tersebut, terjadi tranfer panas dari fluida primer bersuhu tinggi ke fluida sekunder bersuhu rendah.

Pada gambar 17.3, adalah contoh skema untuk turbin gas sistem terbuka. Dapat dilihat fluida kerja yang dipakai adalah udara. Udara masuk kompresor, dan ke luar sebagai udara mampat pada titik 2. Udara bertekanan tinggi tersebut masuk ruang bakar dan menyerap panas dari proses pembakaran, lalu ke luar ruang bakar dengan temperatur tinggi pada titik 3. Selanjutnya, fluida kerja masuk turbin dan berekspansi untuk memberikan energinya ke sudu-sudu turbin. Terjadi perubahan energi, dari energi panas fluida kerja menjadi putaran poros turbin. Sesudah berekspansi pada turbin, fluida kerja lalu ke luar turbin dengan temperatur relatif rendah ke lingkungan.



Gambar 2.108 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka tak langsung

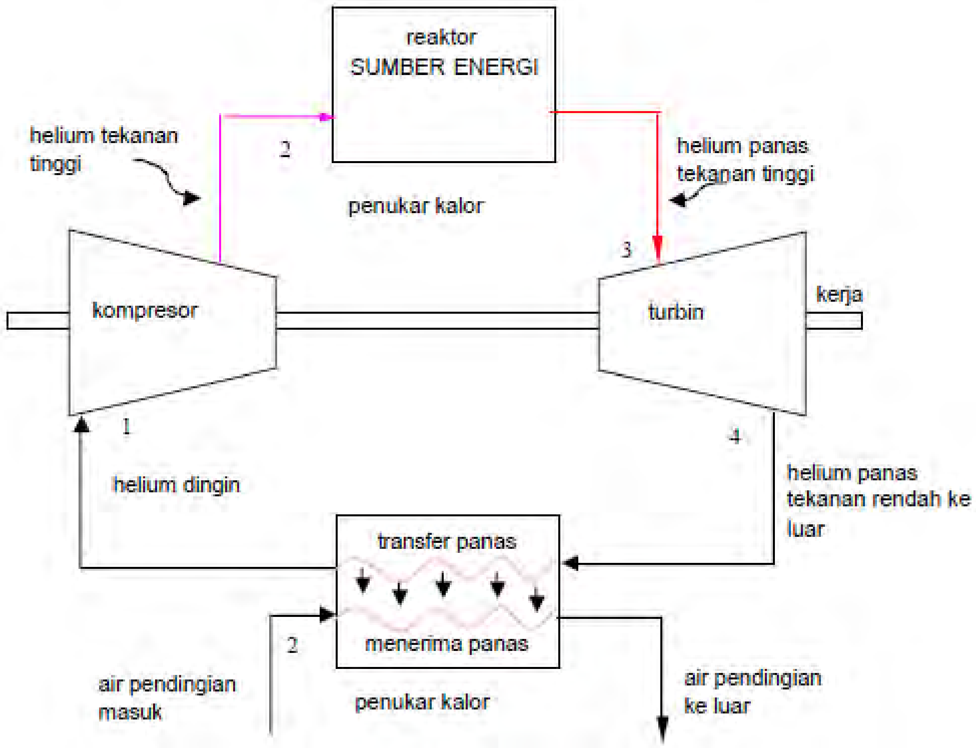
Pada gambar 2.108 adalah contoh sistem turbin gas tak langsung dengan penukar kalor. Dapat dilihat, fluida kerja (fluida sekunder) yang dipakai adalah udara. Udara masuk kompresor dan ke luar sebagai udara mampat pada titik 2. Udara bertekanan tinggi tersebut, masuk penukar kalor dan menyerap panas dari sumber panas. Sumber panas tersebut adalah fluida primer bertemperatur tinggi yang mengalir dari reaktor. Fluida primer ini, sebagai pembawa energi panas dari proses pembakaran bahan bakar nuklir, yang biasa digunakan adalah air atau gas helium. Proses selanjutnya adalah sama dengan skema gambar 17.4



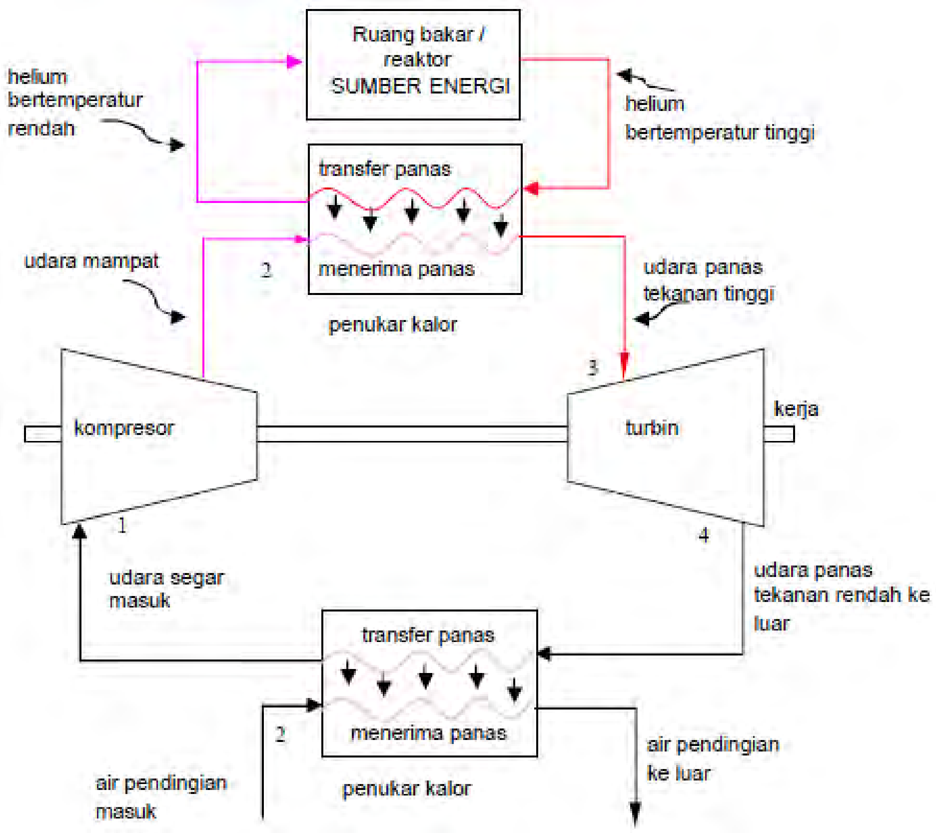
Gambar 2.109 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka tak langsung

7.2 Turbin gas sistem tertutup (langsung dan tidak langsung)

Sistem turbin gas tertutup langsung banyak digunakan untuk aplikasi tubin gas dengan bahan bakar nuklir [gambar 2.110]. Fluida kerja yang paling cocok adalah helium. Proses kerja dari sistem tersebut adalah sebagai berikut. Helium tekanan tinggi dari kompresor dimasukan reaktor untuk dipanasi dan sekaligus untuk pendinginan reaktor. Setelah itu, helium berekspansi diturbin dengan melepaskan sebagian besar energinya. Energi tersebut diubah pada sudu-sudu turbin menjadi putaran poros turbin dan langsung menggerakan kompresor ataupun beban lainnya. Helium ke luar turbin, tekanannya sudah menurun, tetapi masih bertemperatur tinggi. Helium bertemperatur tinggi harus didinginkan sebelum masuk kompresor, untuk keperluan tersebut, dipasang penukar kalor. Selanjutnya, helium dingin masuk kompresor lagi untuk dikompresi lagi.



Gambar 2.110Bagan kerja turbin gas sistem tertutup langsung

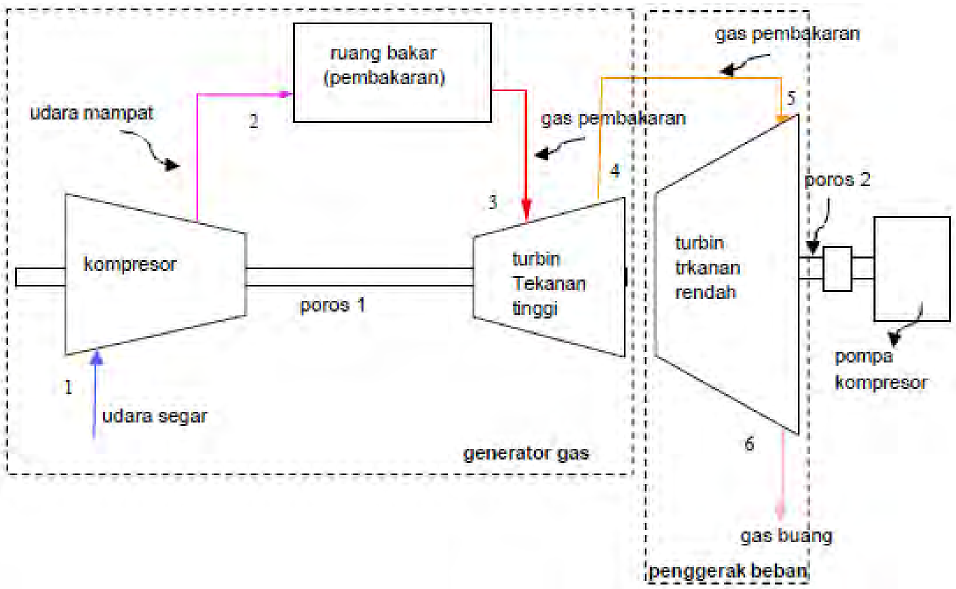


Gambar 2.111 Bagan kerja turbin gas sistem tertutup tak langsung

Pada gambar 2.111 adalah sistem turbin gas tertutup tak langsung, sistem ini adalah sistem gabungan antara sistem tertutup dan sistem tak langsung. Fluida kerja primer menyerap panas dari ruang bakar atau reaktor kemudian dialirkan ke penukar kalor, kemudian diserap oleh fluida sekunder. Langkah selanjutnya, prosesnya sama dengan gambar 2.110.

7.3 Turbin Gas Dua Poros Terpisah

Pada pusat pembangkit daya (*power plant*) yang menggunakan turbin gas sebagai tenaga gerak, putaran poros turbin harus tetap tidak bervariasi [gambar 17.2]. Hal ini berkaitan dengan pembangkitan energi listrik pada generator yang harus stabil, sehingga energi listrik yang dihasilkan stabil dengan frekuensi (*Hz*) yang tetap. Untuk menangani beban pada putaran yang tetap, biasanya turbin gas yang dipakai hanya menggunakan satu poros saja.



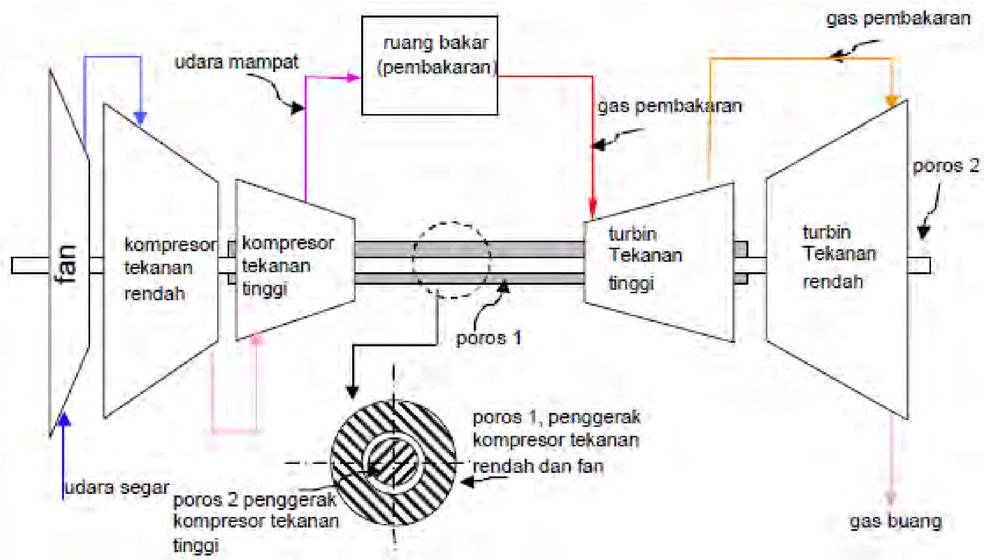
Gambar 2.112 Turbin gas industri dengan dua poros dan dua turbin

Berbeda dengan aplikasi turbin gas pada pembangkit listrik yang menggunakan satu poros, turbin gas yang dipakai untuk industri khususnya sebagai penggerak kompresor dan pompa, banyak menggunakan sistem dua poros [gambar 2.112]. Alasan yang mendasari adalah kompresor dan pompa bekerja pada putaran yang berubah-ubah, dengan tujuan merespon perubahan kapasitas aliran. Untuk itu, turbin gas harus dapat bekerja pada putaran yang bervariasi, sehingga dapat digunakan sebagai penggerak pompa atau kompresor pada putaran yang

bervariasi. Poros pertama terdiri dari kompresor dan turbin tekanan tinggi (*gas generator*), dan yang kedua terdiri dari turbin tekanan rendah untuk putaran poros yang terhubung dengan beban yaitu pompa atau kompresor.

7.4 Turbin gas dua poros terpusat

Pada gambar 2.113 di atas adalah sebuah bagan turbin gas dengan dua poros. Turbin gas jenis ini banyak dipakai pada turbin gas pesawat terbang dengan fan (TURBOFAN). Udara dimampatkan tiga kali yaitu di fan, kompresor tekanan rendah dan kompresor tekanan tinggi. Untuk fan dan kompresor tekanan rendah digerakan oleh turbin tekanan rendah dengan poros di dalam anulus poros pertama.



Gambar 2.113 Turbin gas pesawat terbang dengan dua poros terpusat

Sedangkan kompresor tekanan tinggi digerakan turbin tekanan tinggi. Pengatur poros dengan tugasnya masing-masing bertujuan untuk memperoleh tingkat putaran yang berbeda antara bagian penggerak kompresor tekana tinggi dengan penghasil gaya dorong yaitu fan. Turbin gas ini digunakan untuk menghasilkan gaya dorong yang besar pada pesawat terbang.

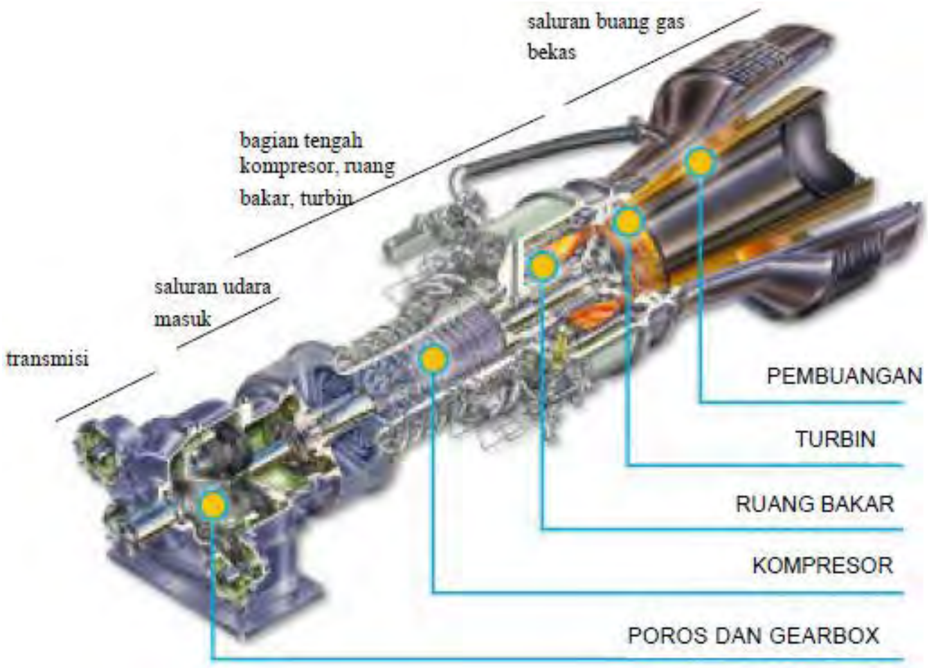
Klasifikasi turbin gas yang sudah diuraikan di atas adalah turbin gas standar tanpa ada modifikasi dengan kinerja yang minimal. Ada beberapa metode untuk memperbaiki kinerja dari tubin gas, yaitu dengan melihat beberapa kemungkinan-kemungkinan, dari segi konstruksinya maupun dari segi proses

kerjanya. Sebagai contoh, yaitu penambahan alat untuk memanfaatkan temperatur gas buang dari turbin yang masih tinggi. Untuk memahami kinerja dari turbin gas secara kwantitatif dapat menggunkan konsep dasar, yaitu konsep efisiensi.

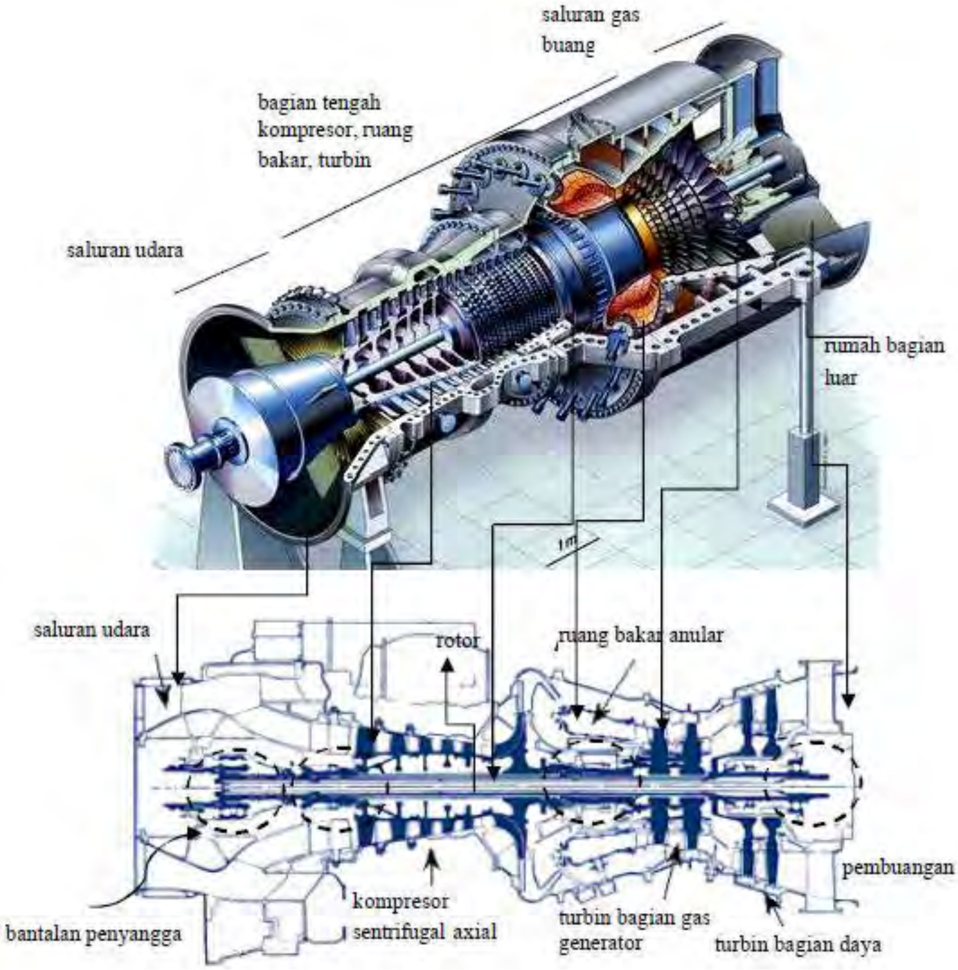
8. Konstruksi Turbin Gas

Turbin gas terdiri dari komponen-komponen yang saling berhubungan satu dan lainya. Komponen-kompenen utama turbin gas adalah kompresor, ruang bakar,dan turbin. Kompresor dan turbin mempunyai rotor yang sama, rotor tersebut ditahan dengan dua bantalan radial dan satu bantalan aksial. Rumah mesin bagian luar umumnya terdiri dari bagian tengah, rumah bagian udara masuk dan rumah bagian gas bekas ke luar satu sama lainnya dihubungkan dengan kuat [gambar 18.1, 18.2, dan 18.3].

Untuk turbin gas yang dipakai pada pesawat terbang, konstruksinya lebih simpel, antara komponen yang satu dengan yang lainnya tidak terpisah. Ukuran komponen-komponen turbin gas pesawat lebih kecil apabila dibandingkan dengan turbin gas untuk industri.



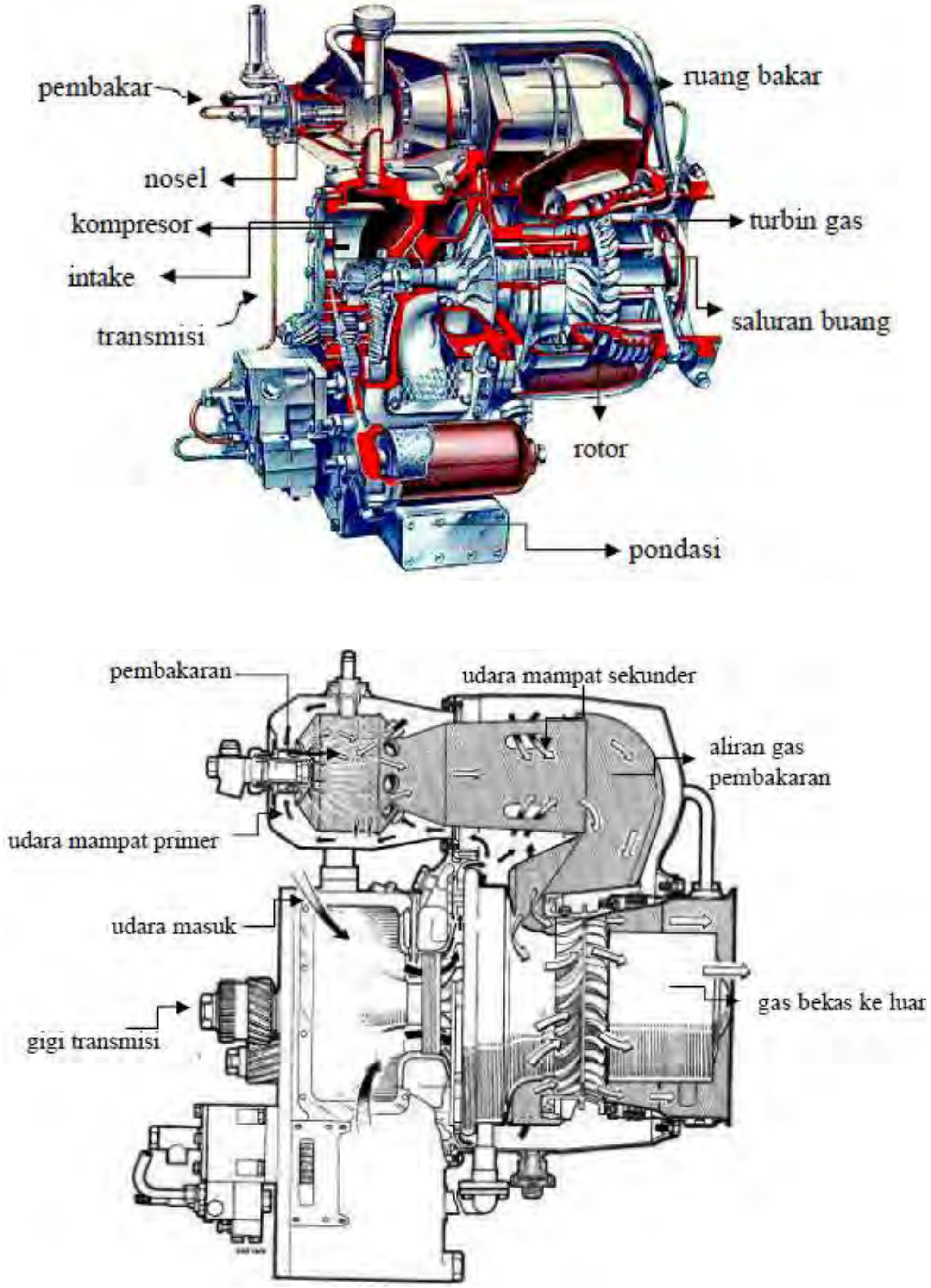
Gambar 2.114 Turbin gas dan komponen-komponennya



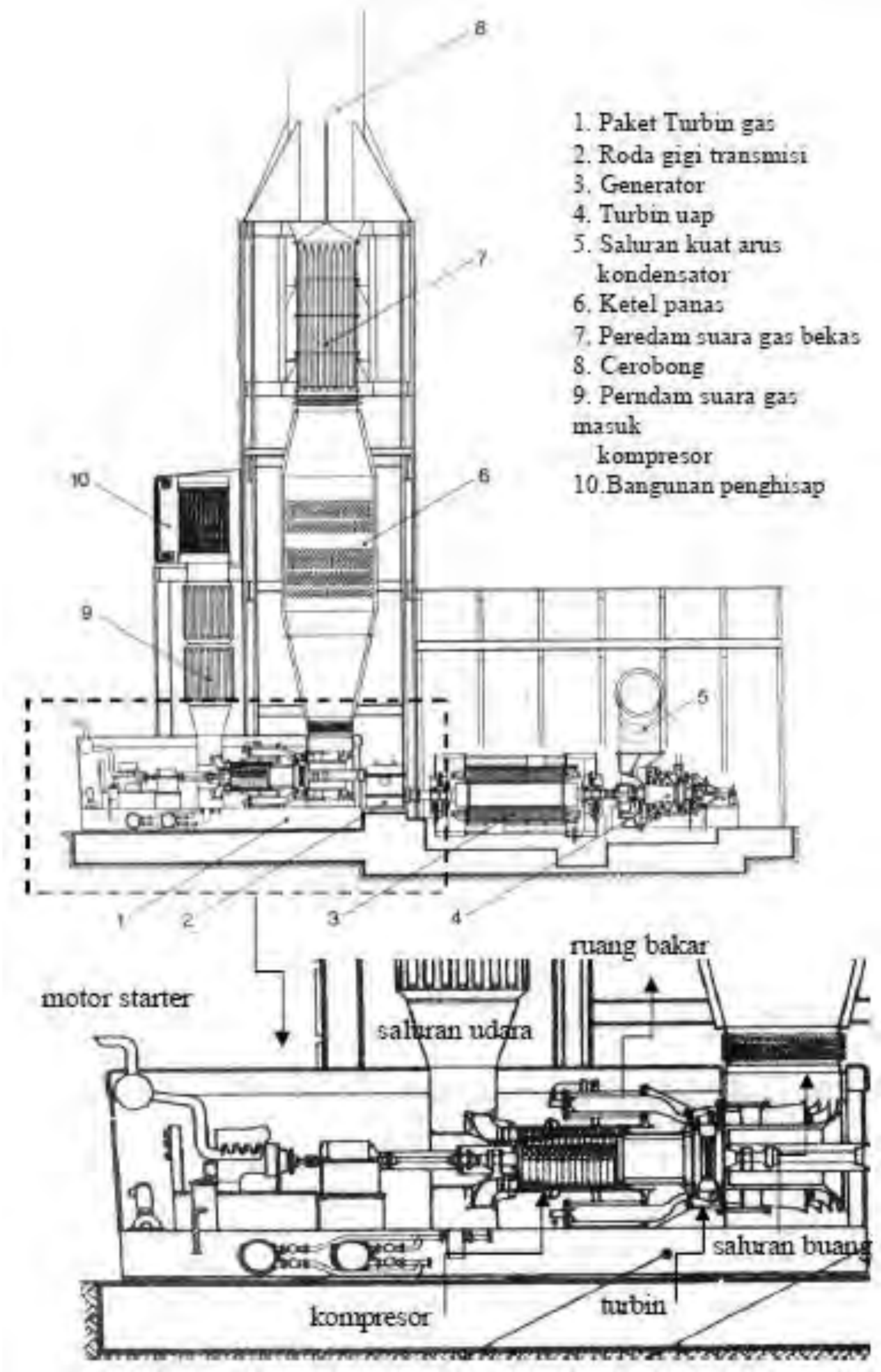
Gambar 2.115 Turbin gas dan komponen-komponennya

Rumah mesin tersebut dipisahkan aksial di bagian tengah setinggi tengah tengah poros. Rumah bagian luar terdiri dari selubung luar dan selubung dalam, diantara selubung tersebut terdapat gas bekas yang dialirkan lewat cerobong. Sudu pengarah kompresor dan turbin ditempatkan di dalam beberapa penyangga sudu pengarah, dan ditumpu dengan sistem elastis terhadap panas di dalam rumah mesin bagian luar.

Saluran udara, dimana pada bagian ini udara dihisap kompresor, mempunyai pelat pengarah, yang berfungsi juga untuk memperkuat luasan samping yang besar. Udara kompresor dapat dilewatkan samping atau atas [gambar 18.3]. Sebelum masuk kompresor, udara tersebut melalui saringan dan peredam suara.



Gambar 2.116 Turbin gas mini dan komponen-komponennya



Gambar 2.117 Pusat pembangkit tenaga gabungan

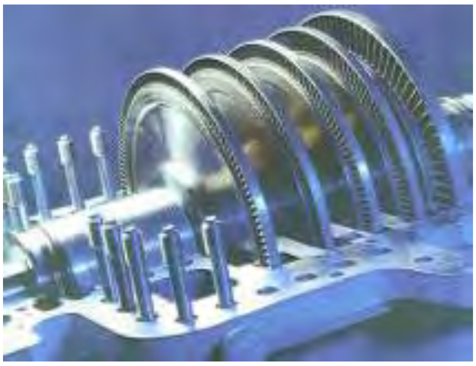
8.1 Rotor

Rotor konstruksinya terdiri dari beberapa piringan tersendiri yang dilengkapi sudu, dan dengan kedua ujungnya serta bagian tengahnya dilengkapi dengan jangka tarik. Bagian- bagian tersebut satu sama lain saling memagang dengan sistem Hirth berkerat-kerat seperti gergaji. Rotor menjadi ringan dan mempunyai kecepatan kritis yang lebih besar dari kecepata putar turbin.

Bagain-bagian rotor dan sudu-sudu didinginkan dari dalam Udara dimasukan ke dalam rotor melalu lubang yang terletak dibagian belakang tingkat terakhir dari kompresor, kemudian udara tersebut dibagi untuk dialirkan ke ruang diatara piringan-piringan roda, selanjutnya dialirkan melalui kaki sudu dan kemudian bercampur dengan fluida kerja. Rotor akan mengalami gaya geser aksial, tetapi gaya geser tersebut saling berlawanan arah, kompresor kekiri dan turbin kekanan. Gaya geser tersebut diseimbangkan dengan membuat sudu-sudu yang disesuaikan.

Kaki sudu pengarah dari kompresor dibuat berbentuk ekor layanglayang dan ditempatkan di dalam cincin pembagi. Gaya geser aksial yang terdapat pada penyangga sudu pengarah kompresor diterima oleh ketinggian cakar dari lis pembagi. Di antara tiga bagian penyangga sudu pengarah kompresor, kadang-kadang terdapat celah berbentuk cincin yang besar. Maksudnya, supaya udara tekan dapat dike luarkan melalui celah tersebut., sehingga pada saat kompresor berjalan terus dan kondisi sampai dibatas pemompaan, jalannya kompresor tetap tenang.

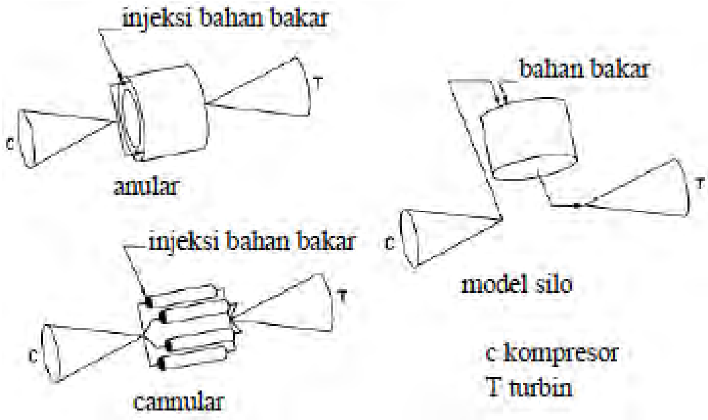
Penyangga sudu pengarah turbin dibuat sedemikain rupa, sehingga seluruh bagian tengah dari rumah bagian luar dapat diisi udara tekan dengan tekanan dan temperatur yang tertentu. Gas panas yang mengalir di dalam turbin dapat mengakibatkan rumah turbin ikut menjadi panas, sehingga di sekelilingi rumah turbin diberi pelindung supaya panas jangan memancar ke luar, karena meskipun panas ke luar dari sudu turbin di sudu pengarah sudah didinginkan dan juga sudah ditahan oleh sudu pengarah, temperaturnya udara tersebut akan naik dan rumah turbin bagian luar juga ikut menjadi panas.



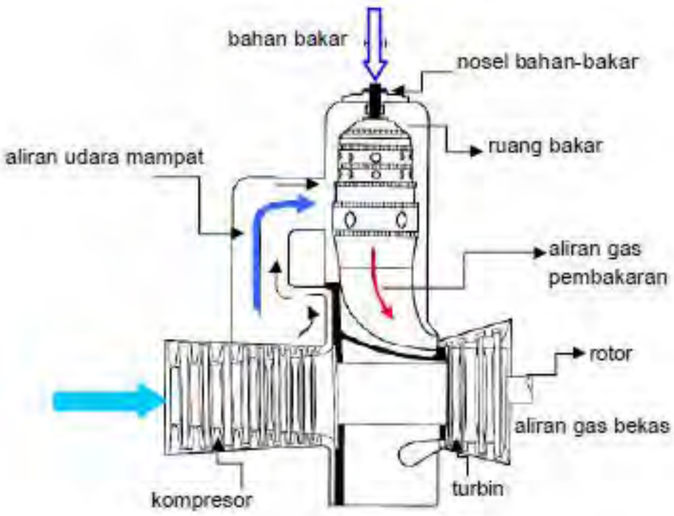
Gambar 2.118 Rotor Turbin gas

8.2 Ruang Bakar

Ruang bakar turbin gas ditempatkan disamping rumah turbin, dengan maksud saluran udara dari kompresor dan gas pembakaran menjadi pendek sehingga kerugian aliran kecil. Saluran gas panas ditempat di dalam saluran udara kompresor sehingga tidak membutuhkan isolasi panas yang khusus.



Gambar 2.119 Ruang bakar turbin gas

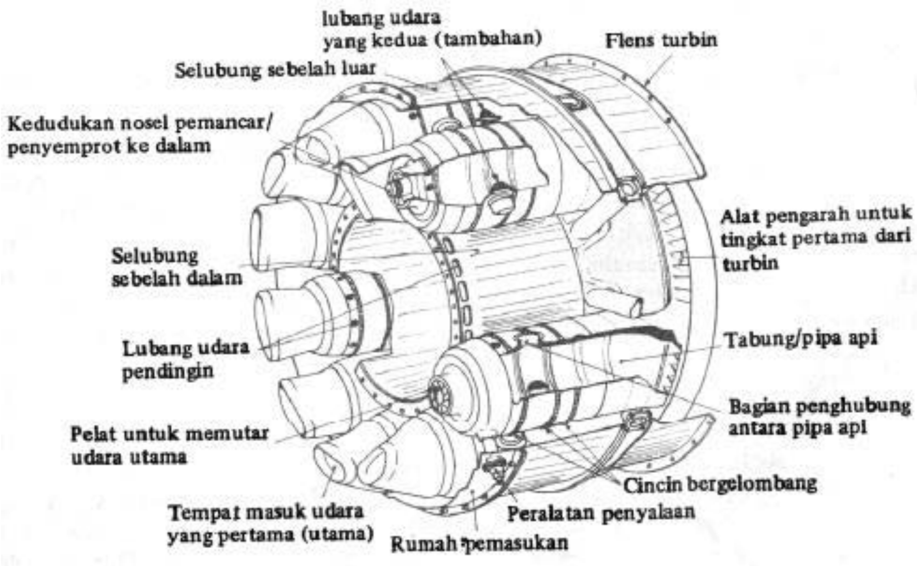


Gambar 2.120 Ruang bakar turbin gas

Untuk menghindari gumpalan-gumpalan gas panas karena tidak bercampur dengan udara segar, saluran gas dibuat dibelokan 90o dua kali sehingga gas panas dan udara bercampur dengan baik, sebelum masuk turbin.

Pengaturan kecepatan udara dari kompresor juga penting, kecepatan udara yang rendah akan mengakibatkan api akan merambat kearah kompresor dan sebaliknya api akan ke luar dari ruang bakar yang mengakibatkan ruang bakar menjadi dingin dan api dapat mati.

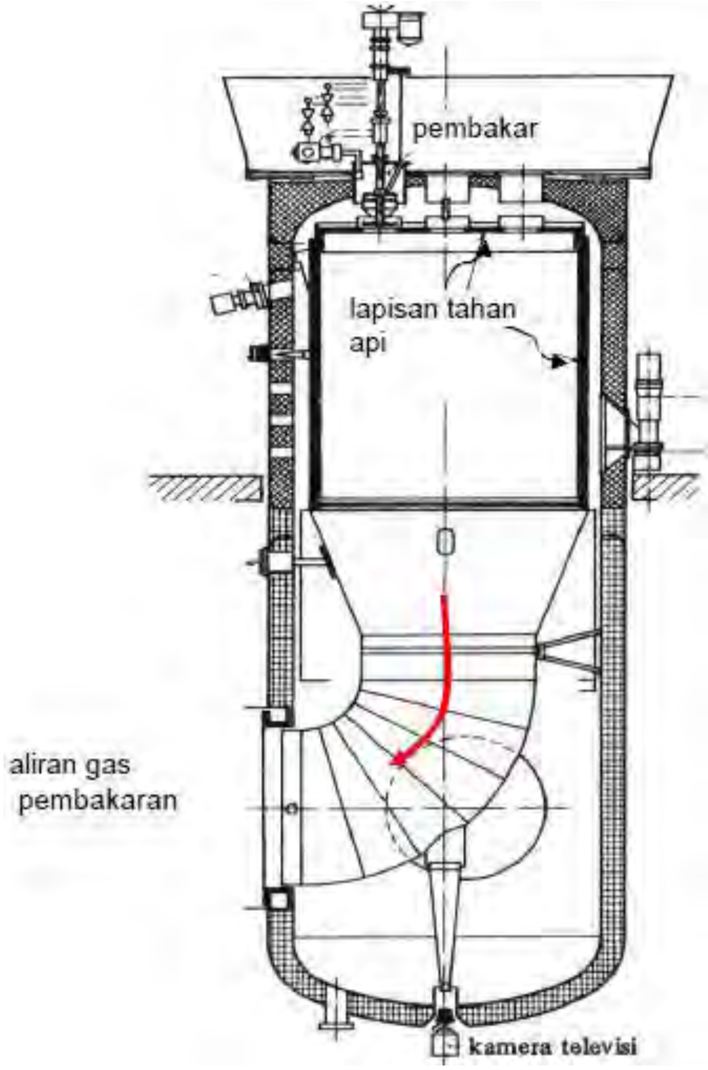
Ruang bakar turbin gas pesawat terbang konstruksinya dapat dilihat pada 20.8. Ruang bakar harus menghemat ruang dan dipasang disekeliling sumbu tengah. Ruang bakar dengan pipa api di dalamnya masing-masing berdiri sendiri sehingga apabila salah satu ruang bakar mati yang lainnya tidak terpengaruh. Dibagian luar ruang bakar terdapat lubang udara primer dan sekunder, nosel bahan-bakar dan penyalanya dan juga terdapat lubang- lubang pendingin. Disini udara pendingin sangat penting untuk menjaga ruang bakar dari temperatur yang terlampau tinggi sehingga gas pembakaran yang mengalir ke turbin juga tidak terlalu tinggi.



Gambar 2.121 Ruang bakar turbin gas pesawat terbang

Ruang bakar untuk industri dibuat terpisah dan besarnya disesuaikan dengan daya turbin gas yang akan dihasilkan. Gambar 2.122 adalah ruang bakar untuk industri. Ruang bakar dipasang tegak, dan dibagian atas terdapat 3 buah burner.

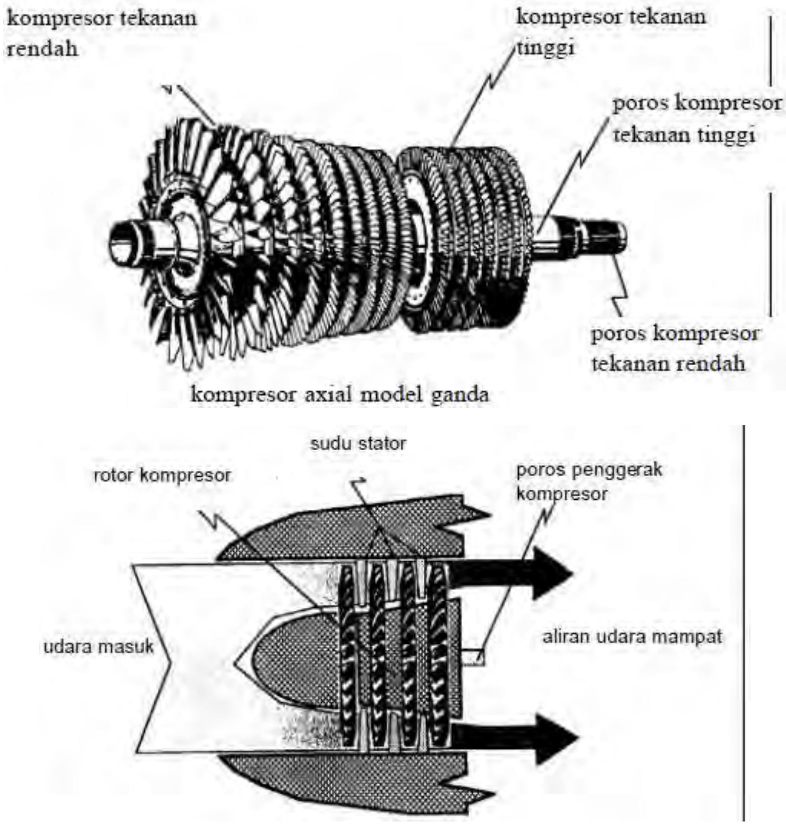
Dibagian dalam terdapat tabung api yang dilindungi oleh lapisan keramik tahan panas.



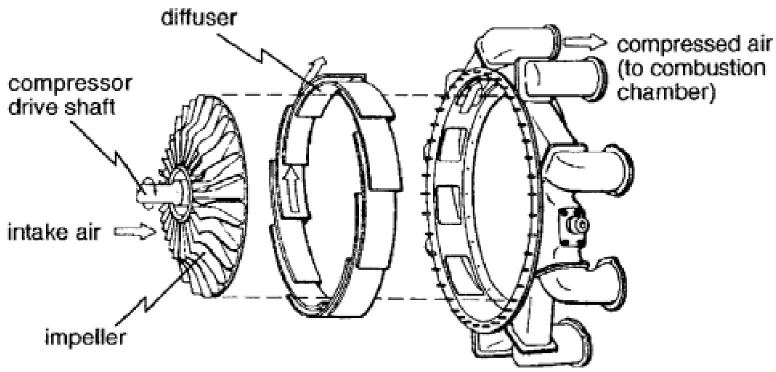
Gambar 2.122 Ruang bakar turbin gas pindustri

8.3 Kompresor

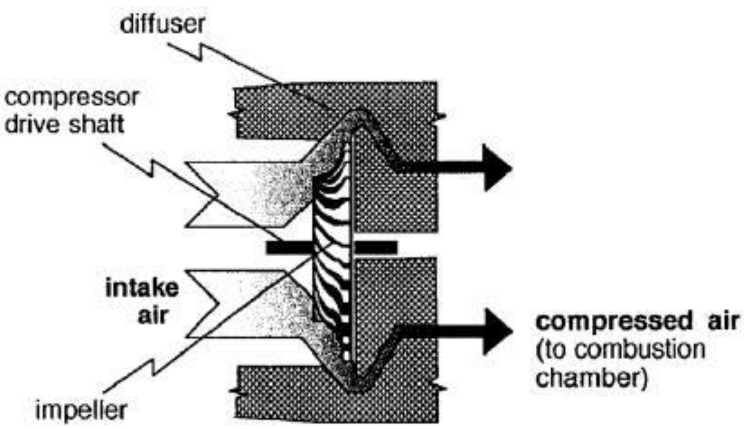
Udara dari luar ditekan dan dihisap oleh kompresor. Ada beberapa macam kompresor yang biasa digunakan turbin gas sebagai contoh yang umum dipakai adalah kompresor radial atau aksial. Kompresor radial biasanya ringan, konstruksinya lebih sederhana dan secara ekonomis lebih murah [gambar 2.123] Biasanya hanya satu tingkat untuk tekanan kompresi rendah sampai sedang. Komponennya impeler, difuser, poros dan manifold udara ke luar. Untuk yang axial biasanya bertingkat dan beroperasi pada tekanan kompresi tinggi, karena bertingkat menjadi berat dan mahal [gambar 2.124].



Gambar 2.123 Kompresor tubin axial



Exploded view of centrifugal compressor components

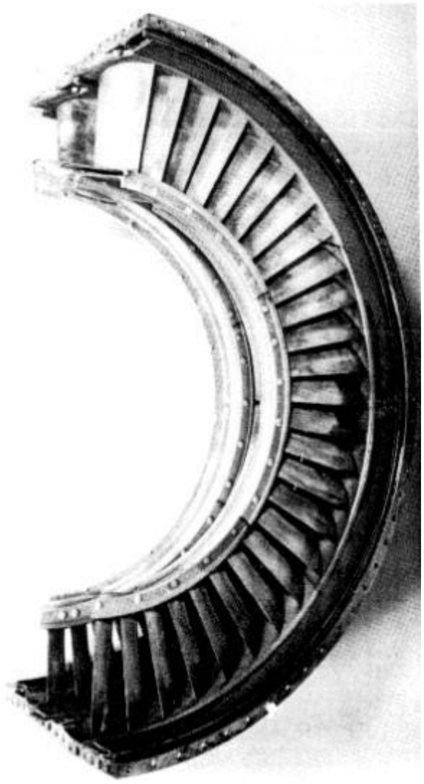


Gambar 2.124 Kompresor radial dengan diffuser

8.4 Turbin

Proses ekspansi gas pembakaran pada turbin gas terjadi pada turbin, karena proses tersebut, terjadi perubahan energi kinetik gas pembakaran menjadi energi mekanik poros turbin, energi ini akan menggerakan kompresor dan peralatan lainnya. Pada gambar 2.114adalah contoh konstruksi dari turbin. Aliran gas turbin dirancang aliran axial. Pada turbin pesawat terbang gas sisa masih dapat digunakan untuk daya dorong. Bagian dari turbin yang penting adalah stator dan rotor.

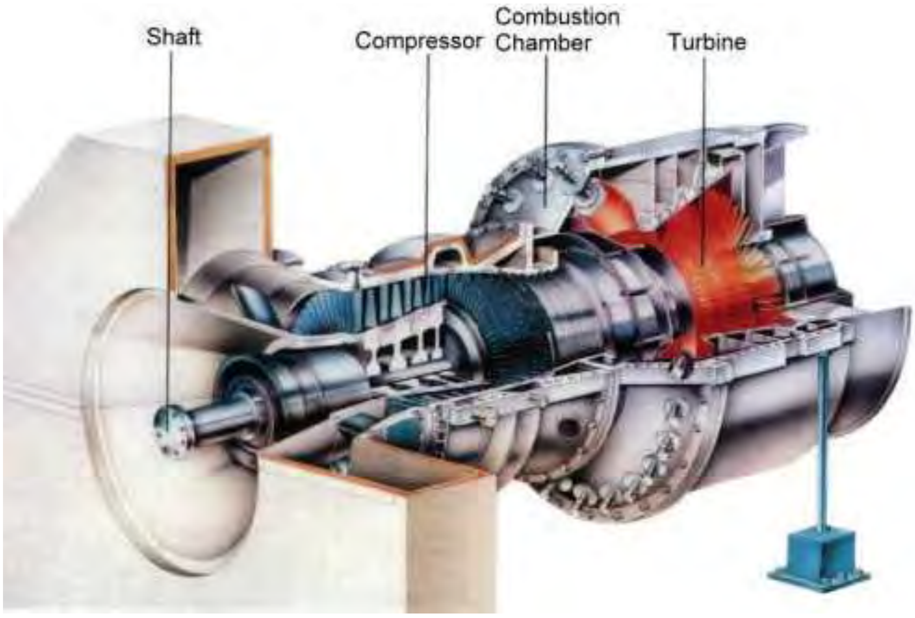
Pada gambar 2.125 terlihat konstruksi dari satator. Stator adalah sudu tetap pada rumah turbin dan berfungsi sebagi nosel pengarah gas pembakaran berkecepatan tinggi ke sudu begerak. Sedangkan rotor terdiri dari sudu begerak yang terpasang pada poros turbin [gambar 18.5]. Rotor turbin bekerja pada temperatur gas pembakaran yang tinggi maka perlu pendinginan, sehingga tidak terjadi kerusakan material turbin.



Gambar 2.125 Bentuk dari sudu jalan turbin

8.5 Aplikasi Turbin Gas

Instalasi turbin gas dapat dibedakan antara turbin yang tetap tidak dipindah-pindahkan dan turbin yang dipakai untuk menggerakan pesawat terbang atau automobil. Instalasi turbin gas tetap tidak dapat dioindahpindahkan adalah instalasi yang dipakai untuk memutar generator listrik dan untuk menggerakan kompresor dan juga yang dikapal-kapal, karena turbin gas ini harus dapat bekeja dalam jangka waktu yang panjang.



Gambar 2.126 Bentuk dari sudu jalan turbin

Jadi turbin harus dibuat untuk mengatasi beban yang tinggi. Sebagai conto untuk daya berguna sebesar 100 MW berarti daya turbin adalah sekitar 300 MW dan beroperasi pada temperatur 850 sampai 950.

Pada gambar 2.126 terlihat turbin gas yang dipakai untuk pembangkit listrik dengan daya dari 30 MW sampai 60 MW dan beroperai selama 300 jam/tahun. Data data pokok turbin ini adalah sebagi berikut ; daya P = 60/80 MW; putaran n = 3000 rpm; kapasitas udara Q_{udara} = 350 kg/detik; temperatur T_{max} = 870^o; perbandingan kompresi r = 9,5; temperatur gas bekas T = 415 dan rendemen total 28%.

Kompresor terdiri dari 15 tingkat dengan kecepatan keliling 320 m/s dan panjang sudu tingkat pertama L = 320 mm. Pada insatalasi turbin gas yang besar, untuk memudahkan stert pada kompresor dipasang katup yang gunanya mencegah pemompaan, sehingga udara dengan tekanan yang berbeda beda akan dike luarkan melalui katup tersebut. Udara dari kompresor dialirkan ke ruang

bakar dengan melalui tabung yang berbentuk seperti diffuser yang terdapat dalam saluran kosentris. disamping turbin terdapat ruang bakar yang dilengkapi dengan pembakar yang dalam operasinya dapat menggunakan minyak bakar atau gas bumi, dimana waktu bekerja pergantian bahan bakar dapat dilakukan dengan tanpa ada perubahan daya atau beban, jadi pada waktu bekerja meskipun bahan-bakarnya diganti daya turbin tetap konstan.

Turbin gas ini mempunyai udara pendingin yang masuk dari dua arah. Udara yang kompresor mengalir masuk ke dalam poros bagian tengah melalui lubanh dan saluran-saluran udara tersebut mengalir ke permukaan rotor dan ke kaki sudu. Pada waktu start celah katup pada kompresor bekerja untuk membuang tekanan berlebih sehingga startnya ringan. Dalam waktu lima menit putaran turbin sudah mencapai kecepatan kerjanya yaitu 3000 rpm. Setelah sembilan menit generator mulai dihubungkan dengan jala-jala listrik dan mulai menerima beban.

Pada gambar di atas adalah contoh penggunaan turbin gas pada pembangkit tenaga listrik. Untuk meningkatkan efisiensi, disamping menggunakan turbin gas, pembangkit tenaga di atas juga menggunakan turbin uap, sehingga sering dinamakan pembangkit tenaga gabungan. Kerja dari pembangkit ini adalah dengan memanfaatkan kembali gas buang dari turbin gas yang masih bersuhu tinggi untuk pembangkitan uap di boiler uap.

c. Rangkuman

- Turbin gas adalah sebuah mesin panas pembakaran dalam, proses kerjanya seperti motor yaitu udara atmosfer dihisap masuk kompresor dan dikompresi, kemudian udara mampat masuk ruang bakar dan dipakai untuk proses pembakaran, sehingga diperoleh suatu energi panas yang besar, energi panas tersebut diekspansikan pada turbin dan menghasilkan energi mekanik pada poros, sisa gas pembakaran yang keluar turbin menjadi energi dorong (turbin gas pesawat terbang).
- Persamaan turbin gas dengan motor bakar adalah pada proses pembakarannya yang terjadi di dalam mesin itu sendiri, disamping itu proses kerjanya adalah sama yaitu hisap, kompresi, pembakaran, ekspansi dan buang.

- Turbin gas banyak digunakan untuk mesin propulsi atau jet, mesin otomotif, tenaga pembangkit listrik atau penggerak peralatanperalatan industri seperti penggerak kompresor atau pompa. Daya yang dihasilkan turbin gas mulai dari 250000 HP untuk pembangkit listrik sampai 5 HP pada *turbocharger* pada mesin motor
- Persyaratan bahan-bakar untuk turbn gas :
- Nilai kalor persatuan berat dari bahan bakar harus tinggi, dengan alasan, dengan jumlah bahan bakar yang sedkit dan ringan dengan nilai kalor yang tinggi adalah akan sangat menguntungkan, karena mengurangi berat pesawat terbang secara keseluruhan
- Kemampuan menguap (volatility) dari bahan bakar tidak terlalu tinggi, oleh karena pada harga volatility yang tinggi bahan bakar akan mudah sekali menguap, terutama pada ketinggian tertentu, hal ini akan membahayakan, karena bahan bakar menjadi mudah terbakar Disamping itu, saluran bahan bakar mudah tersumbat karena uap bahan bakar.
- Bahan bakar pesawat yang biasa digunakan adalah dari jenis gasolin dan kerosen atau campuran keduanya, tentunya sudah dimurnikan dari unsur-unsur yang merugikan. Sebagai contoh, standar yang dikeluarkan *American Society for Tinting Material Spesification* (ASTM) seri D-1655, yaitu Jet A, Jet A1, Jet B. Notasi A, A, dan B membedakan titik bekunya.

d. Tugas

Soal :

1. Jelaskan prinsip kerja dari turin gas . . . . ?
2. Jelaskan komponen-komponen utama dari turbin gas ! Kemudian jelaskan fungsi dari masing-masing komponen !
3. Jelaskan persamaan dan perbedaan antara motor bakar dan turbin gas
4. Jelaskan keuntungan dari pemakaian turbin gas sebagai penggerak pesawat terbang ?
5. Mengapa motor bakar untuk saat ini tidak dipakai sebagi penggerak turbin gas.
6. Jelaskan macam-macam turbin gas ?
7. Jelaskan persyaratan yang harus ada pada bahan bakar untuk turbin gas?

6. Kegiatan Belajar 6 : Pengetahuan Dasar Generator Listrik

a. Tujuan Pembelajaran :

Setelah mempelajari secara keseluruhan materi kegiatan belajar dalam modul ini peserta diklat diharapkan mampu :

1) Menjelaskan prinsip kerja generator listrik dengan benar
2) Menjelaskan hukum lenz terkait dengan medan maknit dengan benar
3) Menjelaskan prinsip pembangkitan listrrik AC dengan benar

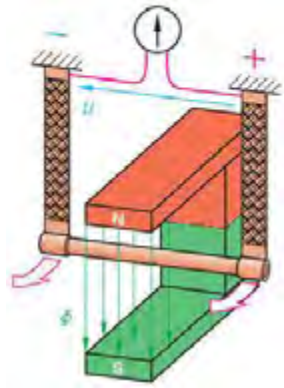
b. Uraian materi

1. Prinsip Kerja Generator

Generator merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator digunakan di bidang yang sangat luas: di bandar udara, di rumah sakit, di transportasi, komputer, di bidang konstruksi, proses industri, dan lainnya. Pada dasarnya terdapat dua macam generator, yaitu generator AC dan DC. Karena generator AC menghasilkan arus AC, maka sering juga disebut sebagai alternator. Generator DC menghasilkan arus DC.

Tidak ada perbedaan kunstruksi antara motor DC dengan generator DC. Perbedaannya hanya pada pemakaiannya. Sebuah mesin DC bila diputar dengan penggerak mula dapat membangkitkan ggl dan mensuplai arus kepada rangkaian luar. Mesin yang sama bila dihubungkan dengan sumber tegangan yang sesuai, dapat digunakan sebagai motor. Kerja motor terjadi apabila sebatang penghantar yang dialiri arus ditempatkan di dalam medan magnit. Gaya yang terjadi akan menghasilkan torsi atau menyebabkan timbulnya putaran bila penghantar tersebut bebas berputar.

Prinsip kerja generator dikenalkan *Michael Faraday 1832*, sebuah kawat penghantar digantung dua ujungnya ditempatkan diantara kutub magnet permanen utara-selatan *gambar-2.127.* Antara kutub utara dan selatan terjadi garis medan magnet Φ.



Gambar 2.127 : Prinsip generator

Kawat penghantar digerakkan dengan arah panah, maka terjadi dikedua ujung kawat terukur tegangan induksi oleh Voltmeter.

Besarnya tegangan induksi tergantung oleh beberapa faktor, diantaranya : *kecepatan menggerakkan kawat penghantar, jumlah penghantar, kerapatan medan magnet permanen B*.

$U = B.L.v.Z$ *Volt*

U Tegangan induksi

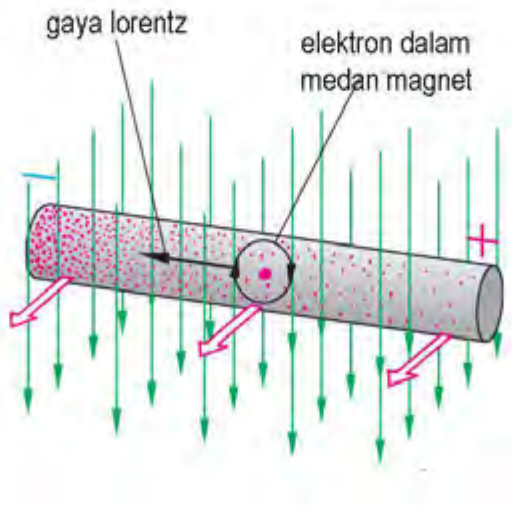
B Kerapatan medan magnet (Tesla)

L Panjang penghantar (meter)

v Kecepatan gerakan (m/det)

z Jumlah penghantar

Terjadinya tegangan induksi dalam kawat penghantar pada prinsip generator terjadi *gambar-2.128*, oleh beberapa komponen. Pertama adanya garis medan magnet yang memotong kawat penghantar sebesar *B*. Kedua ketika kawat penghantar digerakkan dengan kecepatan *v* pada penghantar terjadi aliran elektron yang bergerak dan menimbulkan gaya gerak listrik (U). Ketiga panjang kawat penghantar *L* juga menentukan besarnya tegangan induksi karena makin banyak elektron yang terpotong oleh garis medan magnet

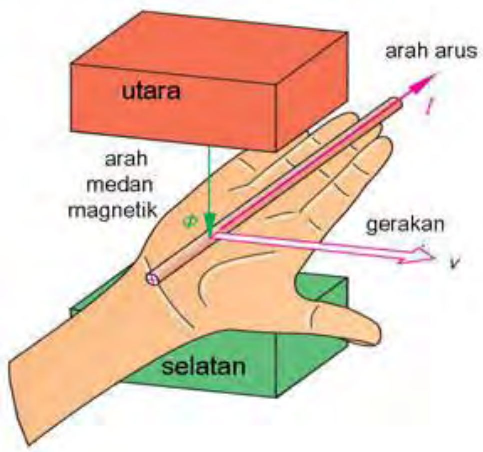


Gambar 2.128 : Prinsip hukum Lorentz

Pada generator, gaya diberikan pada poros untuk memutarkan jangkar. Sedangkan pada motor, gaya dihasilkan bila penghantar yang dialiri arus listrikditempatkan di dalam medan magnit.

Motor menghasilkan torsi sebagai akibat adanya interaksi antara medan magnit yang ditimbulkan oleh arus jangkar dengan medan magnit dari kutub-kutub magnit. Untuk motordalam prakteknya, secara umum besarnya torsi berbanding lurus dengan fluksi medan danarus jangkar. Kecuali pada motor seri.

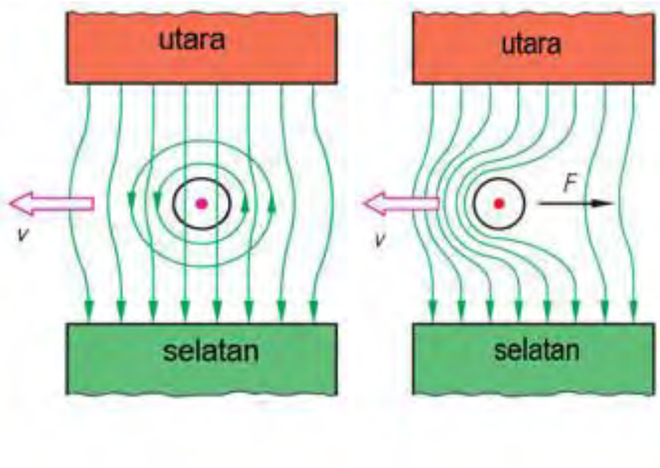
Hubungan yang ada antara arus pada penghantar, medan magnit dan arah gaya ditentukan oleh peraturan tangan kiri Flemming.*Prinsip tangan kanan Flemmin*g menjelaskan terjadinya tegangan pada generator listrik. Sepasang magnet permanen menghasilkan garis medan magnet Φ *gambar-2.129*, memotong sepanjang kawat penghantar menembus telapak tangan.



Gambar 2.129 : Interaksi elektromagnetik

Kawat penghantar digerakkan kearah ibu jari dengan kecepatan v. Maka pada kawat penghantar timbul arus listrik I yang mengalir searah dengan arah keempat jari. Apa yang akan terjadi bila posisi magnet permanen utara-selatan dibalikkan, kemana arah arus yang dibangkitkan ? Untuk menjawabnya peragakan dengan tangan kanan anda danjelaskan dengan jelas dan sistematis. *Hukum Lenz*, menyatakan *penghantar yang dialiri arus maka sekitar penghantar akan timbul medan elektromagnet.* Ketika kawat penghantar digerakkan kecepatan v dan penghantar melewatkan arus kearah kita (tanda titik) sekitar penghantar timbul elektromagnet kearah kiri *gambar-2.130a*.

Akibat interaksi medan magnet permanen dengan medan elektromagnet terjadi gaya lawan sebesar F yang arahnya berlawanan dengan arah kecepatan v kawat penghantar *gambar-2.130b.*



Gambar 2.130 : Interaksi elektromagnetik

Contoh :

Model generator DC memiliki kerapatan fluk magnet sebesar 0,8 Tesla, panjang efektif dari penghantar 250 mm, digerakkan dengan kecepatan 12m/detik. Hitung besarnya tegangan induksi yang dihasilkan.

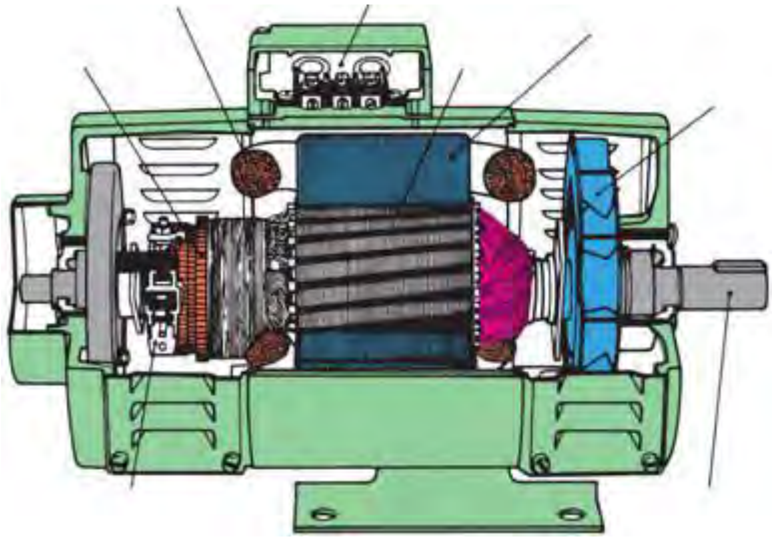
Jawaban :

U = B.L.v.Z Volt

= 0,8 Tesla. 250.10-3meter. 12 m/det = 240 Volt

2. Konstruksi Generator DC

Pada umumnya generator dibuat dengan menggunakan magnet permanen dengan 4-kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban lebih, startor eksitasi, penyearah, *bearing* dan rumah generator atau casis, serta bagian rotor. Gambar 4.7 menunjukkan gambar potongan melintang konstruksi generator DC Generator DC terdiri dua bagian, yaitu ***stator***, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian ***rotor***, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri atas : rangka motor, belitan stator, sikat arang, beraing, terminal box. Bagian rotor terdiri : komutator, belitan rotor, kipas rotor, poros rotor.



Gambar 2.130 : Konstruksi Generator DC

Komutasi

Tegangan yang dibangkitkan pada penghantar jangkar generator DC adalah ggl arus bolak-balik. Arus jangkarnya juga adalah arus bolak-balik dan harus didibalik untuk mempertahankan output yang searah untuk dihubungkan dengan beban. Pembalikan arah arus jangkar ini disebut "komutasi". Lamel-lamel komutator dan sikat-sikat merupakan bagian yang berpengaruh pada komutasi.

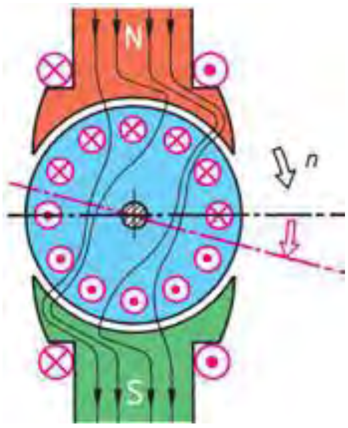
Komutasi yang baik (tanpa buanga api).

Pemilihan bahan untuk sikat dan penempatan sikat-sikat pada komutator terhadap medan magnit dan garis netral axis akan memperkecil dan mungkin menghapuskan, bunga api komutator. Faktor lainnya seperti induktansi kumparan, kekurangan tegangan pada satu kumparan dan lebar sikat memberikan pengaruh pada komutasi.

Bagian yang harus menjadi perhatian untuk perawatan secara rutin adalah sikat arang yang akan memendek dan harus diganti secara periodik. Komutator harus dibersihkan dari kotoran sisa sikat arang yang menempel dan serbuk arang yang mengisi celah-celah komutator, gunakan amplas halus untuk membersihkan noda bekas sikat arang.

Kutub bantu

Dimana keadaan beban yang berubah-ubah, arus jangkar ber- variasi menyebabkan distorsi medan magnit dan perubahan garis netral medan utama.
Kejadian ini dikenal sebagai reaksi jangkar. Hal ini menyebabkan timbulnya bunga api pada komutator yang tidak dapat diatasi dengan pergerakan fisik posisi sikat-sikat. Kutub bantu digunakan dalam keadaan ini untuk mempertahankan secara efektif posisi garis netral dan dengan menganggap posisi sikat tetap.



Gambar 2.131. Pengaruh medan jangkar terhadap medan utama

Lilitan kompensasi

Lilitan kompensasi memperkecil pengaruh reaksi jangkar. Lilitan ini hanya terdapat pada mesin-mesin yang besar.

Jenis Generator

Medan magnit yang diperlukan oleh suatu generator dapat dibuat dari magnit permanen atau magnit listrik. Karena dalam prakteknya terdapat keterbatasan dari ukuran dan kekuatannya, maka pemakaian magnit permanen juga terbatas.

Magnit listrik selalu digunakan sebagai sistem medan magnit pada generator dan motor DC ukuran besar. Karena ggl induksi dalam penghantar jangkar tergantung pada kuat medan magnit padacelah udara, ggl yang dibangkitkan mudah dikontrol dengan cara mengatur arus dalam kumparan medan.

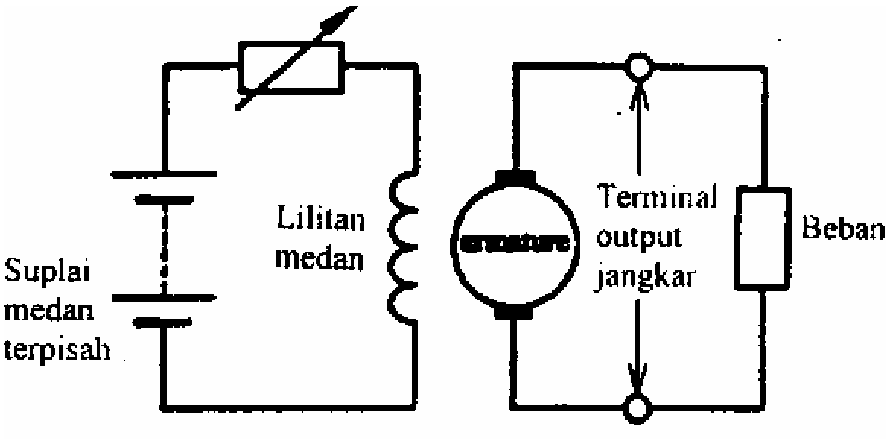
Berdasarkan sumber arus yang diberikan untuk penguat medan magnit, maka generator dapat diklasifikasikan menjadi :

a. **generator penguat terpisah**
b. **generator penguat sendiri**

Generator penguat terpisah

Cara yang sederhana untuk memberikan penguatan medan magnit sebuah generator DC adalah dengan menghubungkannya pada sumber DC dari luar.

Seperti ditunjukkan pada diagram di bawah, sebuah tahanan variable rheostat untuk medan magnit biasanya dihubungkan seri dengan lilitan medan untuk mengontrol ggl yang dibangkitkan dengan mengatur arus medan magnit

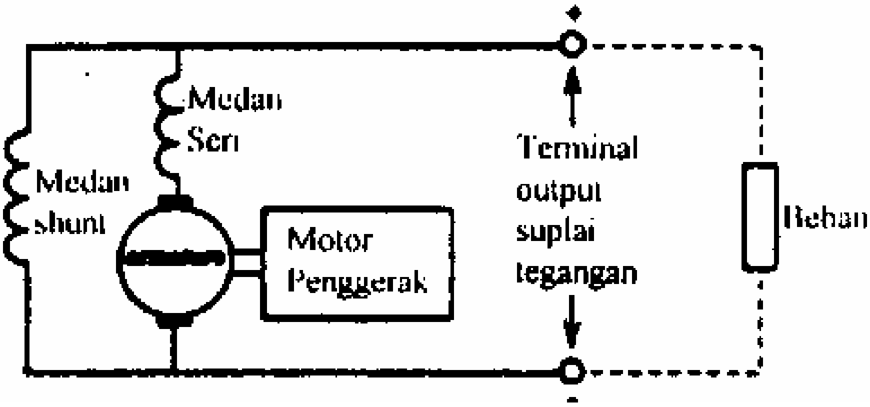


Gambar 2.132 :Generator penguat terpisah

Generator penguat sendiri

Generatot penguat sendiri adalah generator yang arus penguat medannya disuplai dari generator itu sendiri. Cara menghubungkan kumparan medan terhadap jangkar, memberikan ciri-ciri jenis generator penguat sendiri. Jenisnya adalah :

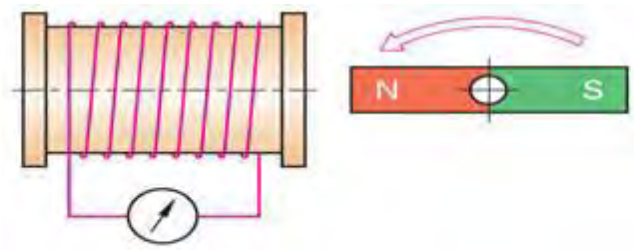
- hubungan shunt
- hubungan seri
- hubungan kompon



Gambar2.133 :Generator penguat sendiri

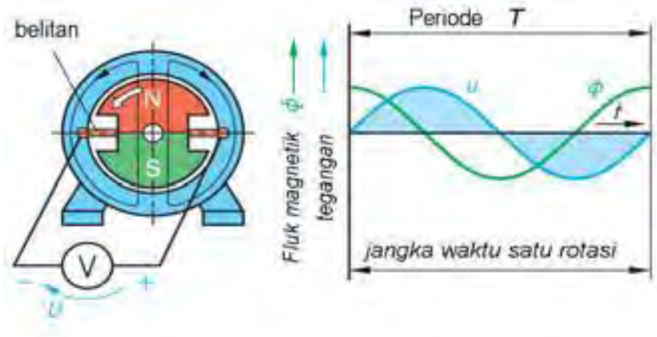
3. Prinsip Pembangkitan Listrik AC

Listrik AC dihasilkan dari hasil induksi elektromagnetik *gambar-2.62*, sebuah belitan kawat yang berdekatan dengan kutub magnet permanen. Kutub permanen diputar pada sumbunya, maka diujung-ujung belitan timbul tegangan listrik yang ditunjukkan oleh penunjukan jarum Voltmeter. Jarum Voltmeter bergoyang kearah kanan dan kekiri, ini menunjukkan satu waktu polaritasnya positif, satu waktu polaritasnya negatif.



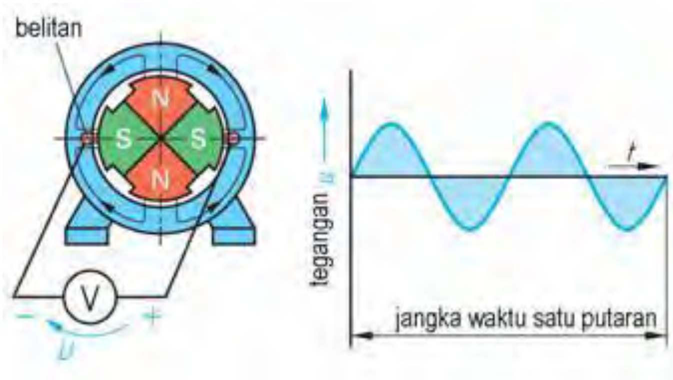
Gambar 2.134 : Prinsip pembangkitan Listrik AC

Generator AC sederhana *gambar-2.131*,terdiri stator dengan belitan kawat dan rotor dengan dua kutub. Saat rotor diputar satu putaran dan ujung belitan diukur dengan voltmeter dihasilkan tegangan AC satu periode. Bentuk tegangan sinusoida dan fluk magnet berbeda phasa 900.



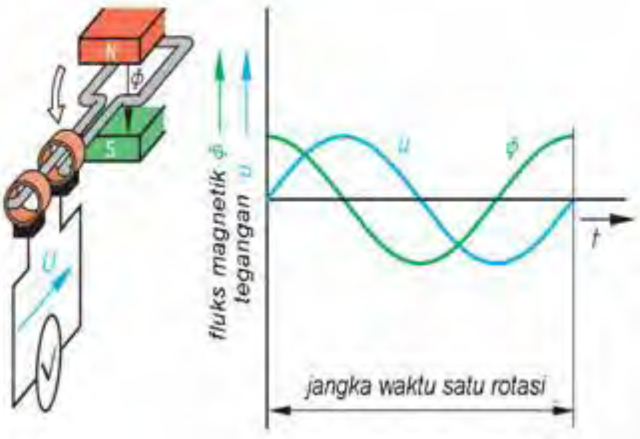
Gambar 2.135 : Generator AC dua kutub

Berikut ini konstruksi sederhana generator AC dengan rotor empat kutub *gambar-2.133*. Saat rotor diputar satu putaran, ujung belitan diukur tegangan dengan Voltmeter. Setiap satu putaran rotor dihasilkan dua siklus tegangan sinusoida. Jika frekuensi diinginkan 50 Hz, maka rotor dalam satu detik harus berputar 25 putaran/detik, atau kalau satu menit 60 detik, maka rotor harus berputar sebanyak 1500 putaran/menit.



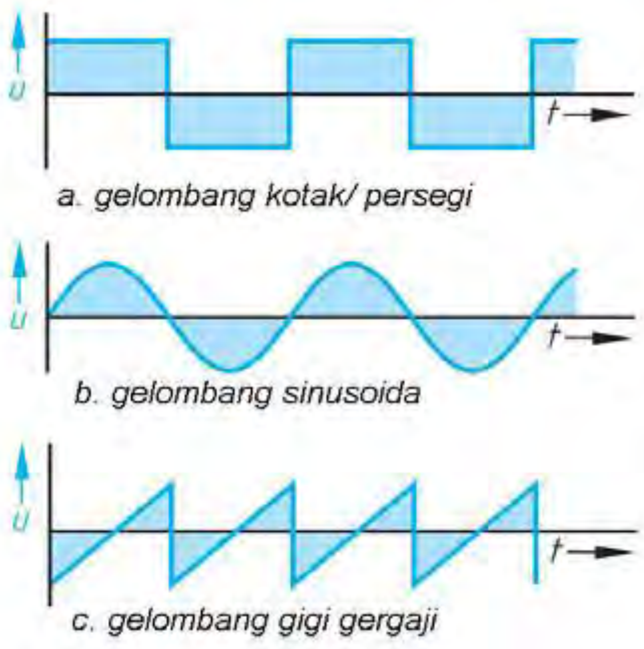
Gambar 2.136 : Generator AC empat kutub

Kutub permanen utara dan kutub selatan menghasilkan garis fluk magnet. Belitan kawat dengan poros yang ujung-ujungnya disambungkan dengan dua cincin putar. Ketika poros diputar, belitan kawat akan memotong garis fluk magnet, sesuai dengan *hukum tangan kiri Flemming* maka pada ujung-ujung cincin akan timbul tegangan yang terukur oleh Voltmeter. Bentuk tegangan berupa gelombang sinus.



Gambar 2.137 : Prinsip generator AC

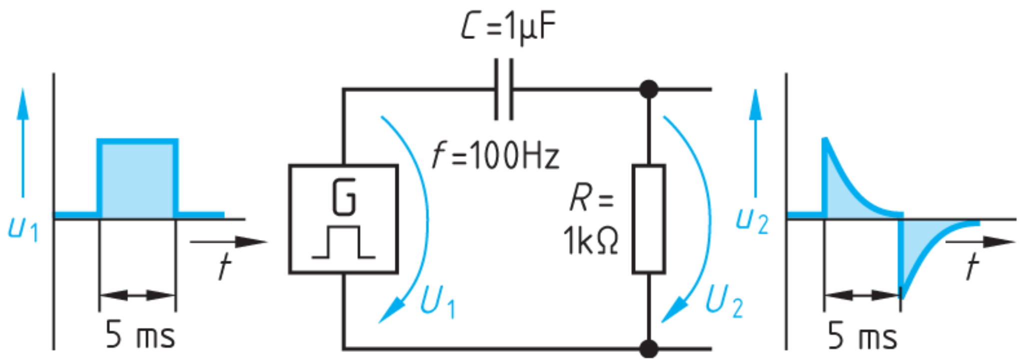
Bentuk gelombang AC secara umum *gambar-2.135*, berwujud bentuk sinusoida, gelombang persegi dan bentuk zig-zag. Satu periode gelombang adalah satu siklus penuh, yaitu satu siklus positif dan satu siklus negatif. Gelombang listrik komersial PLN yang dipakai untuk rumah tangga dan industri adalah sinusoida frekuensi 50 Hz.



Gambar 2.138 : Bentuk gelombang AC

Untuk menghasilkan bentuk gelombang listrik untuk kebutuhan khusus seperti bentuk pulsa, dihasilkan dengan rangkaian Resistor dan Kapasitor *gambar-*

2.136. Sumber tegangan kotak dengan frekuensi 100 Hz (5 milidetik) jika dirangkaian dengan Kapasitor *C= 1µF* dan Resistor R = 1 kΩ, akan dihasilkan bentuk gelombang output seperti gigi gergaji dengan ujung tajam dan kemudian turun drastis.



Gambar 2.139 : Rangkaian pembangkit gelombang pulsa

Prinsip generator sederhana sebuah koil, bila didekatnya digerakgerakan magnet permanen, pada ujung koil terukur arus bolak balik.

Prinsip generator AC sesui kaidah tangan kiri *Flemming*, belitan kawat dalam loop tertutup yang dipotong oleh garis gaya magnet, pada ujung belitan kawat akan timbul ggl induksi.

Bentuk gelombang AC bisa berupa gelombang sinusioda, gelombang kotak, gelombang pulsa dsb.

c. Rangkuman

1. Prinsip kerja generator dikenalkan *Michael Faraday 1832*, sebuah kawat penghantar digantung dua ujungnya ditempatkan diantara kutub magnet permanen utara-selatan
2. Besarnya tegangan induksi tergantung oleh beberapa faktor, diantaranya : *kecepatan menggerakkan kawat penghantar, jumlah penghantar, kerapatan medan magnet permanen*
3. *Prinsip tangan kanan Flemming* menjelaskan terjadinya tegangan pada generator listrik. Sepasang magnet permanen menghasilkan garis medan magnet

4. *Hukum Lenz*, menyatakan *penghantar yang dialiri arus maka sekitar penghantar akan timbul medan elektromagnet*
5. Listrik AC dihasilkan dari hasil induksi elektromagnetik
6. Bentuk gelombang AC secara umum berwujud bentuk sinusoida, gelombang persegi dan bentuk zig-zag.
7. Satu periode gelombang adalah satu siklus penuh, yaitu satu siklus positif dan satu siklus negatif. Gelombang listrik komersial PLN yang dipakai untuk rumah tangga dan industri adalah sinusoida frekuensi 50 Hz.

d. Tugas

1. Jelaskan prinsip kerja generator listrik . . .?
2. Jelaskan hukum lenz terkait dengan medan maknit . . .?
3. Jelaskan komponen utama dari suatu konstruksi generator DC . . .?
4. Uraikan prinsip pembangkitan listrik AC . . .?

III EVALUASI

IV PENUTUP

Upaya menyiapkan tenaga menengah kejuruan untuk memenuhi kebutuhan akan tenaga pelaksana di bengkel atau di industri, dalam kenyataannya sekarang ini sangat dipengaruhi oleh persaingan yang sangat ketat baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Karena setiap pengusaha akan bersaing dalam kualitas produksinya yang dilaksanakan sehingga menghasilkan barang berdasarkan kebutuhan pasar dengan harga yang bersaing.

Dalam hal ini maka untuk menjawab tantangan tersebut setiap orang yang akan terlibat di dalam proses produksi harus mampu dan mempunyai KOMPETENSI yang dikuasai, diakui, sedangkan untuk memperoleh kompetensi tersebut harus melalui pendidikan dan pelatihan di institusi/sekolah kejuruan .

Salah satu perangkat pembelajaran diklat kompetensi adalah buku MODUL/ BAHAN AJAR, yang diharapkan dengan mempelajari buku modul ini peserta/siswa akan dibekali dengan pengetahuan dan keterampilan dasar yang harus dikuasai untuk mengikuti UJI KOMPETENSI NASIONAL.

Modul/ bahan ajar ini dimaksudkan untuk membantu/ memandu para peserta/siswa dalam pembelajaran untuk mencapai kompetensi pengetahuan dasar mesin-mesin konversi energy untuk tingkat **Tenaga Pelaksana di bidang Teknik Pemeliharaan Mekanik Mesin Industri** atau yang berhubungan dengan pekerjaan –pekerjaan tersebut diatas, semoga buku modul ini bermanfaat bagi yang memerlukannya.

DAFTAR PUSTAKA

Ackermann, T., 2005, *Wind Power in Power Sistem,* England, John Wiley and Sons Ltd.

Anonamius, 1992. *Doe Fundamental Handbook of Thermodinamic*.

Bosch (1995), *Automotive Electric/ Electronic System*, Germany, Robert Bosch Gmbh.

Brady, Robert N. (1983) *Electrikand Electronic System for Automobiles and Truck*, Viginia,Reston Publishig Company, Inc.

Cengel, Y.A., 2005.*Thermodynamics An Engineering Approach*. Edisi 5.McGraw Hill.New York.

Dietzel, F., 1993.*Turbin, Pompa dan Kompresor* , Jakarta Erlangga.

Dinas Tenaga Kerja dan Transmigrasi Provinsi Jawa Tengah. 2007. *Bimbingan Teknis Calon Ahli K3*

Doland, J.J.,1984. *Hydro Power Engineering.* New York. The Ronald Press Company.

El-Mallahawy, F., 2000, F*undamentals and Technology of Combustion*, McGraw Hill.

H*eat Transfer and Fluid Flow,* U.S. Departement of Energy, Washington D.C

Honer Jim, 1986, *Automotive Electrical Handboo*k, Los Angeles, Price Stern Sloan.

Mathur, M.L. dan Sharma, R.P., 1980, *A course in Internal Combustion Engine,* Edisi 3, Delhi India, Hanpat Rai and Sons, Nai Sarak

Sayig, A.A.M, 1997, "Renewable Energi*",* Journal of the World Renewable Energi, UK

Shlyakin, P., 1999.*Teori dan Perancangan Steam Turbines*. Jakarta Erlangga.

Silalahi, Bernnet NB. 1995. *Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: PT Pustaka Binaman Pressindo

Sularso dan Tahara, H., 2000. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta Pradnya Paramita.

Sullivan`s Kalvin R. (2004), *Wiring Diagrams*, WWW.Autoshop 101.com

Sumakmur PK. 1996. *Keselamatan Kerja & Pencegahan Kecelakaan*. Jakarta: PT. Gunung Agung

TEAM (1995), *New Step 1 Training Manual*, Jakarta, Toyota Astra Motor

TEAM (1996), *Electrical Group Step 2*, Jakarta, Toyota Astra Motor

Toyota Astra Motor (t.th). *Materi engine group step 2*, Jakarta, Toyota Astra Motor